



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

TRABAJO FIN DE GRADO

**Título: IMPLEMENTACIÓN DE LA SEÑALIZACIÓN DE
UNA ESTACIÓN BASE UMTS**

Autor: Alejandro Lancho Serrano

**Titulación: Grado en Ingeniería de Sistemas de
Comunicaciones**

Profesor: Dr. Víctor P. Gil Jiménez

Fecha: Julio 2013

ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO	IX
SELECTED SECTIONS IN ENGLISH.....	i
1. ABSTRACT	i
2. INTRODUCTION	iv
3. CONCLUSION	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 ESTADO DEL ARTE	3
1.3 MARCO REGULATORIO.....	4
1.4 DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO.....	5
2. UMTS	7
2.1 REQUERIMIENTOS DE LA TERCERA GENERACIÓN.....	7
2.2 CORE NETWORKS (NUCLEO DE RED).....	8
2.3 SERVICIOS Y APLICACIONES DE UMTS.....	8
2.4 INTRODUCCIÓN A WCDMA	8
2.4.1 SPREADING Y DESPREADING (ENSANCHAMIENTO Y DESENSANCHAMIENTO)	9
2.4.2 CONTROL DE POTENCIA	10
2.5 ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO RADIO.....	10
2.5.1 UTRAN (UMTS Radio Access Network).....	10
2.5.2 CORE NETWORK (Red de tránsito)	11
2.6 CAPA FÍSICA	11
2.6.1 CANALES DE TRANSPORTE	12
2.6.2 CORRESPONDENCIA DE CANALES DE TRANSPORTE EN CANALES FÍSICOS	13
2.6.3 ESTRUCTURA DE LA TRAMA DE CANALES DE TRANSPORTE	13
2.6.4 ENSANCHAMIENTO Y MODULACIÓN	14
2.6.4.1 CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN	14
2.6.4.2 CÓDIGOS DE SCRAMBLING.....	15
2.6.5 SPREADING Y MODULACIÓN EN EL DOWNLINK	15
2.6.5.1 ENSANCHAMIENTO EN EL ENLACE DE BAJADA.....	15
2.6.5.2 ALEATORIZACIÓN EN EL ENLACE DE BAJADA.....	15
2.7 CANALES FÍSICOS IMPLEMENTADOS.....	16
2.7.1 SEÑALES FÍSICAS IMPLEMENTADAS.....	16
3. HARDWARE	18
3.1 NI-USRP© 2920	18

3.2 Agilent© ESG E4438C.....	19
3.3 VSA 89600	20
4. SOFTWARE.....	21
4.1 NI LABVIEW©	21
4.2 MATLAB©.....	22
5. DISEÑO	24
5.1 DISEÑO DE LOS CÓDIGOS.....	24
5.1.1 CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN.....	24
5.1.2 CÓDIGOS DE ALEATORIZACIÓN.....	24
5.2 DISEÑO DE LOS CANALES	25
5.2.1 SCH (<i>Synchronisation Channel</i>)	25
5.2.2 P-CPICH (<i>Primary Common Pilot Channel</i>)	26
5.2.3 P-CCPCH (<i>Primary Common Control Physical Channel</i>).....	27
5.2.4 PICH (<i>Paging Indicator Channel</i>)	27
5.2.5 DPCH (<i>Dedicated Physical Channel</i>)	28
6. DESARROLLO	30
6.1. TRANSMISOR. VI PRINCIPAL.....	30
6.2 FORMACIÓN DE CÓDIGOS.....	32
6.2.1 CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN.....	32
6.2.1.1 Uso de la ventana principal	32
6.2.1.2 Formación de los códigos de Canalización.....	33
6.2.2 CÓDIGOS DE ALEATORIZACIÓN.....	37
6.2.2.1 Uso de la pantalla principal	37
6.2.2.2 Formación de los códigos de aleatorización	38
6.3 GENERACIÓN DE CANALES	40
6.3.1 SCH (<i>Synchronisation Channel</i>)	40
6.3.2 P-CPICH (<i>Primary Common Pilot Channel</i>)	44
6.3.3 P-CCPCH (<i>Primary Common Control Physical Channel</i>).....	45
6.3.4 PICH (<i>Paging Indicator Channel</i>)	47
6.3.5 DPCH (<i>Dedicated Physical Channel</i>)	50
7. VALIDACIÓN DEL SISTEMA	55
7.1 SCH Y CPICH.....	55
7.2 SCH, P-CCPCH Y CPICH.....	57
7.2.1 DISTINTOS CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN PARA P-CCPCH.....	59
7.3 SCH, P-CCPCH, CPICH Y PICH	62
7.3.1 DISTINTOS CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN.....	63

7.3.2 MODIFICACIONES PARÁMETROS DEL PICH.....	65
7.4 SCH, P-CCPCH, CPICH, PICH Y DPCH	67
7.4.1 DISTINTOS CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN.....	68
7.4.2 GENERACIÓN POR PATRONES DE DATOS	70
7.5 TRANSMISIÓN CON DISTINTOS CÓDIGOS DE ALEATORIZACIÓN	73
8. PRESUPUESTO	77
8.1 COSTE DE PERSONAL.....	78
8.2 COSTE DE MATERIALES.....	79
8.3 PRESUPUESTO FINAL.....	80
9. CONCLUSIONES, LÍNEAS FUTURAS Y APLICACIONES.....	81
10. REFERENCIAS.....	83
11. BIBLIOGRAFÍA.....	85
12. ANEXOS	86
12.1 ANEXO 1	86
12.1.1 SPREADING Y MODULACIÓN EN EL <i>UPLINK</i>	86
12.1.2 ENSANCHAMIENTO EN EL UPLINK	87
12.1.3 ALEATORIZACIÓN EN EL UPLINK	87
12.1.4 SPREADING Y MODULACIÓN DE LOS CANALES COMUNES DEL UPLINK.....	87
12.2 ANEXO 2	87
12.3 ANEXO 3	89

ÍNDICE DE FIGURAS

2.4.1	<i>Proceso de Spreading y Despreading</i>
2.5	<i>Arquitectura de la Red de Acceso</i>
2.6.2	<i>Correspondencia de Canales Lógicos, de Transporte y Físicos</i>
2.6.3	<i>Estructura Genérica de una Trama</i>
2.6.4	<i>Procesado en Banda Base Genérico</i>
2.6.4.1	<i>Árbol de Códigos de Canalización</i>
2.7	<i>Procesado en Banda Base canal DPCH</i>
2.7.1	<i>Correspondencia Canales Implementados</i>
3.1	<i>NI USRP 2920 [17]</i>
3.3-1	<i>Hardware del VSA 89600</i>
3.3-2	<i>Software del VSA 89600</i>
4.2	<i>Agilent ESG E4438G [10]</i>
4.1-1	<i>Icono Labview [6]</i>
4.1-2	<i>Pantalla Labview [20]</i>
4.2-1	<i>Icono Matlab [21]</i>
4.2-2	<i>Programa Matlab</i>
5.2.1	<i>Estructura del Canal de Sincronización</i>
5.2.2	<i>Patrón de Modulación para el CPICH (con $A=1+j$)</i>
5.2.3	<i>Estructura de Trama para el P-CCPCH</i>
5.2.4	<i>Estructura del PICH</i>
5.2.5	<i>Estructura de la trama del DPCH para el downlink</i>
6.1	<i>Panel Frontal del Transmisor</i>
6.2.1.1	<i>Ejemplo Matriz de Códigos de Canalización</i>
6.2.1.2-1	<i>Variable de Control del Spreading Factor</i>

6.2.1.2	<i>Iteraciones para la Formación de los Códigos de Canalización</i>
6.2.1.2-3	<i>Primera iteración en la formación de los Códigos de Canalización</i>
6.2.1.2-4	<i>Esquema Procedimiento para Formación de Códigos de Canalización</i>
6.2.1.2-5	<i>Matriz Códigos de Canalización SF=16</i>
6.2.1.2-6	<i>Código para seleccionar un Código de Canalización concreto</i>
6.2.1.2-7	<i>Iteraciones para Construcción de Matriz de SF=32</i>
6.2.2.1	<i>Matriz con Códigos de Scrambling y Código de Scrambling Seleccionado</i>
6.2.2.2-1	<i>Paso 1 en la construcción de Códigos de Scrambling</i>
6.2.2.2-2	<i>Paso 2 en la construcción de Códigos de Scrambling</i>
6.2.2.2-3	<i>Paso 3 en la construcción de Códigos de Scrambling</i>
6.2.2.2-4	<i>Paso 4 en la construcción de Códigos de Scrambling</i>
6.3.1-1	<i>Construcción de la Matriz H para el S-SCH</i>
6.3.1-2	<i>Construcción de la Matriz de posibles códigos de S-SCH</i>
6.3.1-3	<i>Generación de parámetros k para cada grupo de Scrambling en S-SCH</i>
6.3.2	<i>Formación del P-CPICH</i>
6.3.3-1	<i>Generación de Bits Aleatorios para el P-CCPCH</i>
6.3.3-2	<i>Formación del P-CCPCH</i>
6.3.3-3	<i>Paso de Bits a Símbolos QPSK</i>
6.3.4-1	<i>Panel Frontal para la formación del PICH.</i>
6.3.4-2	<i>Formación del PICH. Parte 1</i>
6.3.4-3	<i>Formación del PICH. Parte 2</i>
6.3.4-4	<i>Formación del PICH. Ensanchamiento</i>
6.3.5-1	<i>Formación de Pilotos DPCH grupo 0</i>
6.3.5-2	<i>Formación del TPC grupo 0 DPCH</i>
6.3.5-3	<i>Generación de Bits aleatorios para grupo 0 DPCH</i>
6.3.5-4	<i>Introducción patrón de datos por parte del Usuario</i>

6.3.5-5	<i>Concatenación de los intervalos que forman el slot del DPCH</i>
6.3.5-6	<i>Ensanchamiento del DPCH</i>
7.1-1	<i>Panel Frontal para Transmisión SCH y CPICH</i>
7.1-2	<i>Resultado de la Transmisión SCH y CPICH</i>
7.2-1	<i>Panel Frontal para Transmisión 1 SCH, CPICH y P-CCPCH</i>
7.2-2	<i>Resultado de la Transmisión 1 SCH, CPICH y P-CCPCH.</i>
7.2.1-1	<i>Panel Frontal para Transmisión 2 SCH, CPICH P-CCPCH</i>
7.2.1-2	<i>Panel Frontal para Transmisión 3 SCH, CPICH y P-CCPCH</i>
7.2.1-3	<i>Resultado de la Transmisión 2 SCH, CPICH y P-CCPCH.</i>
7.2.1-4	<i>Resultado de la Transmisión 3 SCH, CPICH y P-CCPCH.</i>
7.3-1	<i>Panel Frontal para Transmisión 1 SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH</i>
7.3-2	<i>Resultado de la Transmisión 1 SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH</i>
7.3.1-1	<i>Panel Frontal para Transmisión 2 SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH</i>
7.3.1-2	<i>Resultado de la Transmisión 2 SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH</i>
7.3.1-3	<i>Resultado de la Transmisión 3 SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH</i>
7.3.2-1	<i>Panel Frontal para Transmisión 3 SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH</i>
7.3.2-2	<i>Resultado de la Transmisión 4 SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH</i>
7.4-1	<i>Panel Frontal para Transmisión 1 SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH</i>
7.4-2	<i>Resultado de la Transmisión 1 SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH</i>
7.4.1-1	<i>Panel Frontal para Transmisión 2 SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH</i>
7.4.1-2	<i>Resultado de la Transmisión 2 SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH</i>
7.4.2-1	<i>Panel Frontal para Transmisión 1 SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH (0000)</i>
7.4.2-2	<i>Panel Frontal para Transmisión 2: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH (0101)</i>
	<i>Panel Frontal para Transmisión 3: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH (1111)</i>
7.4.2-4	<i>Resultado de la Transmisión 1 SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH</i>
7.4.2-5	<i>Resultado de la Transmisión 2 SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH</i>

7.4.2-6	<i>Resultado de la Transmisión 3 SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH</i>
7.5-1	<i>Panel Frontal Transmisión 1 para diferenciación de Códigos de Scrambling</i>
7.5-2	<i>Panel Frontal Transmisión 2 para diferenciación de Códigos de Scrambling</i>
7.5-3	<i>Transmisión con C.Scrambling 0. Recepción con C.Scrambling 0</i>
7.5-4	<i>Transmisión con C.Scrambling 0. Recepción con C.Scrambling 1</i>
7.5-5	<i>Transmisión con C.Scrambling 1. Recepción con C.Scrambling 1</i>
12.1.1-1	<i>Transmisión DPDCH y DPCCH</i>
12.1.1-2	<i>Constelación Uplink</i>
12.1.1-3	<i>Procesado Banda Base Uplink</i>

ÍNDICE DE TABLAS

2.1 *Comparativa WCDMA GSM*

5.2.1 *Diferencia Diversidad SCH*

5.2.4 *Correspondencia de los Paging Indicators Pq a los bits del PICH*

6.3.5-1 *Información para el grupo 0 del DPCH*

6.3.5-2 *Pilotos para el grupo 0 del DPCH*

6.3.5-3 *Patrón de Bits del TPC para el grupo 0 del DPCH*

8 *Tareas vs horas*

8.1-1 *Coste Realización TFG alumno.*

8.1-2 *Coste Realización TFG tutor*

8.2 *Costes Material e Instalaciones*

8.3 *Presupuesto Final*

12.2-1 *Campos del DPDCH y del DPCCH*

12.2-2 *Patrones de los Bits Piloto para el downlink con Npilot=2,4,8 y 16*

12.2-3 *Patrones de Bits para el TPC*

12.3 *Grupos de Scrambling para el S-SCH*

GLOSARIO

3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>	Proyecto para la tercera generación
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>	Línea de Abonado Digital Asimétrica
AICH	<i>Acquisition Indicator Channel</i>	Canal de Indicadores de Adquisición
AP-AICH	<i>Access Preamble- AICH</i>	Preámbulo de Acceso del AICH
AuC	<i>Autentification Unit Center</i>	Centro de Autenticación
BCH	<i>Broadcast Channel</i>	Canal de Difusión
BER	<i>Bit Error Rate</i>	Tasa de Error de Bit
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>	Modulación Binaria por Desplazamiento de Fase
CD/CA-ICH	<i>Collision Detection/ Channel Assignment Indicator Channel</i>	Canal Indicador de Detección de Colisión/ Asignación de Canal
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>	Acceso Múltiple por División de Código
CPCH	<i>Uplink Common Packet Channel</i>	Canal Común de Paquetes de subida
CPICH	<i>Common Pilot Channel</i>	Canal Común de Pilotos
C_{psc}	<i>PSC Code</i>	Código del PSC
CSICH	<i>CPCH Status Indicator Channel</i>	Indicador de Estado de canal CPCH
DCH	<i>Dedicated Channel</i>	Canal Dedicado
DPCCH	<i>Dedicated Physical Control Channel</i>	Canal de Control Físico Dedicado
DPCH	<i>Dedicated Physical Channel</i>	Canal Físico Dedicado
DPDCH	<i>Dedicated Physical Data Channel</i>	Canal de Datos Físico Dedicado
DSCH	<i>Downlink Shared Channel</i>	Canal de Bajada Compartido
DS-WCDMA	<i>Direct Sequence - WCDMA</i>	Secuencia Directa – WCDMA
DTX	<i>Discontinuous Transmission</i>	Transmisión Discontinua
EIR	<i>Equipment Identity Register</i>	Registro de Identidad de Equipamiento
FACH	<i>Forward Access Channel</i>	Canal de Acceso Directo
FDD	<i>Frecuency Division Duplexing</i>	Duplexión por División en Frecuencia
FM	<i>Frecuency Modulation</i>	Modulación en Frecuencia
GGSN	<i>Gateway GSN</i>	Pasarela GSN
GMSC	<i>Gateway MSC</i>	Pasarela del MSC

GPS	<i>Global Positioning System</i>	Sistema de Posicionamiento Global
GSM	<i>Global System for Moblie</i>	Sistema Global para Móviles
HFC	<i>Hybrid Fiber Coaxial</i>	Híbrido entre Fibra y Coaxial
HLR	<i>Home Location Register</i>	Registro de Localización Global
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>	Subsistema Multimedia IP
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i>	Identidad de Suscripción Móvil Internacional
IMT-2000	<i>(International Mobile Telephony 2000),</i>	Telefonía Internacional Móvil 2000
ITU	<i>(International Telecommunication Union)</i>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
ME	<i>Mobile Equipment</i>	Equipo Móvil
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>	Múltiples Antenas en Transmisión y Recepción
MSC	<i>UMTS Mobile Switching Center</i>	Centro de Conmutación Móvil de UMTS
NI	<i>National Instruments</i>	
OVSF	<i>Orthogonal Variable Spreading Factor</i>	Códigos Ortogonales de Factor de Ensanchado Variable
PAR	<i>Peak to Average Ratio</i>	Relación de Potencia Media a Potencia de Pico
PCCH	<i>Paging Control Channel</i>	Canal de Control de Localización
P-CCPCH	<i>Primary Common Control Channel</i>	Canal Común de Control Primario
PCH	<i>Paging Channel</i>	Canal de Localización
P-CPICH	<i>Primary CPICH</i>	CPICH Primario
PI	<i>Paging Indicator</i>	Indicador de Localización
PICH	<i>Paging Indicator Channel</i>	Canal de Indicador de Localización
PSC	<i>Primary Synchronisation Code</i>	Código Primario de Sincronización
P-SCH	<i>Primary-SCH</i>	SCH Primario
QoS	<i>Quality of Service</i>	Calidad de Servicio
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>	Modulación en Cuadratura por Desplazamiento de Fase
RACH	<i>Random Access Channel</i>	Canal de Acceso Aleatorio
RBS	<i>Radio Base Station</i>	Estación Base Radio
RF	<i>Radio Frequency</i>	Radio Frecuencia
RNC	<i>Radio Network Controller</i>	Controlador de la Red Radio
RNS	<i>Radio Network Subsystem</i>	Subsistema de Red Radio

SCH	<i>Synchronization Channel</i>	Canal de Sincronización
SF	<i>Spreading Factor</i>	Factor de Ensanchado
SFN	<i>System Frame Number</i>	Número de Ventana de Sistema
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>	Nodo de Soporte del Servicio GPRS
SIR	<i>Signal to Interference Ratio</i>	Relación señal a Interferencia
S-SCH	<i>Secondary-SCH</i>	SCH Secundario
TDD	<i>Time Division Duplexing</i>	Duplexión por División en el tiempo
TFCI	<i>Transport Format Combination Indicator</i>	Indicador de Combinación de Formato de Transporte
TFI	<i>Transport Format Channel</i>	Formato de Canal de Transporte
UE	<i>User Equipment</i>	Equipamiento de Usuario
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>	Sistema de Comunicaciones Móviles Universal
USIM	<i>Universal Subscriber Identity Module</i>	Módulo de Identidad del Suscriptor Universal
USRP	<i>Universal Software Radio Peripheral</i>	Software Radio Periférico Universal
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>	Red de Acceso Radio Terrestre UMTS
VLR	<i>Visitor Location Register</i>	Registro de Localización de Visitantes
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>	Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha

SELECTED SECTIONS IN ENGLISH

1. ABSTRACT

The functionality of this base station is basic and intuitive. It has been implemented the downlink channel of a transmitter. All of this will allow the user to interact with the interface and as a consequence, to interact and know the most important points of WCDMA system.

Regarding the transmitter, it presents a main frame where the user, not only can activate and deactivate five channels belonging to the base station, but also he can modify the parameters which permit to configure the main particularities of each channel. On top of that it is offered the possibility of selecting the Scrambling Code with which the Base Station will work. It is possible to select it among the first 64 Scrambling Codes. Moreover it is also configurable other parameters like the carrier frequency, the gain and the IQ rate.

The following physical channels have been implemented:

- SCH (Synchronisation channel)
- CPICH (Common Pilot Channel)
- P-CCPCH (Primary Common Control Channel)
- PICH (Paging Indicator Channel)
- DPCH (Dedicated Physical Channel)

The reason why this channels have been the chosen is simple. They include all what is necessary to understand the WCDMA technology.

With the SCH is showed the process of synchronisation which is vital to initialize the communication. Furthermore, this base station allows the user to configure and modify the different parameters used for the formation of the channel such as the Scrambling group of the Secondary SCH.

The functionality of the CPICH is the easiest. However it has quite importance due to the fact it permits to understand better the operation of the process of Spreading and Scrambling. This process is implemented from scratch in the program. Therefore it is possible to learn thoroughly how to develop and implement this codes. Moreover, how the CPICH is a simple channel, it is easy to follow the process of Spreading and Scrambling in it. However this channel only permit the Spreading Code 0 with a Spreading Factor of 256.

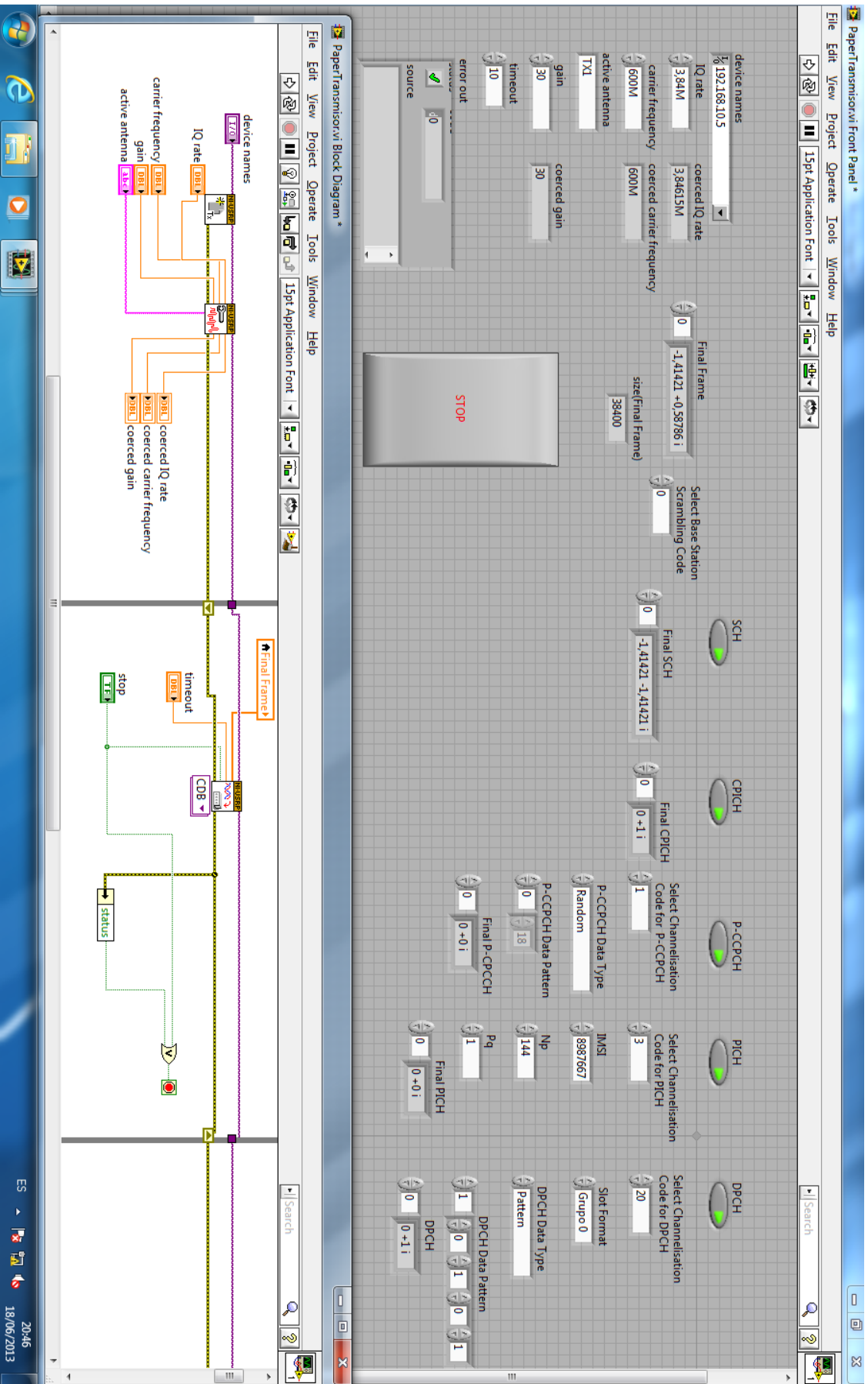
Because of that, the P-CCPCH and the PICH have been implemented to allow the user to modify other parameters which are no configurable in the previous channels. For instance, in the P-CCPCH is configurable the number of the Spreading Code being compulsory a SF=256. Otherwise, in the PICH is possible to change the Spreading Code being mandatory a SF=256 as well, and are also configurable parameters such as the IMSI, the N_p (Number of paging indicators per frame) and the P_q (an indicator from high layers related with the representation of the paging indicators).

Finally, but no less important the base station offers the possibility of activating and configuring the DPCH. In this channel are modifiable the following parameters. Firstly the

Spreading Channel and the Slot Format group. The last one determinates other parameters like for instance the number of bits per slot, both DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) bits per slot and DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) bits per slot. Additionally it is indicated as well the length of the data time slots and also the length of the control time slots which contains information referent to the TPC (Transmit Power Control), TFCI (Transport Format Combination Indicator), and the Pilots.

The base station has been implemented in *NI Labview* what is a programming environment based in graphical programming. Besides, in order to implement the transmitter physically, it has been used the hardware *NI USRP* which is totally compatible with the software. This package has permitted to make many test in a real environment.

In the next image, it is showed the main frame of the base station with all what has been explained previously:



To sum up, this base station implements the main functionalities which permit to understand in some depth the WCDMA technology. The user will be able to study the generation of all the codes used in WCDMA, which are the Synchronisation Codes, the Spreading Codes, and the Scrambling Codes. Furthermore, it is also possible to run wireless simulation easily what it will permit to the user being closer to the real environment of this technology.

2. INTRODUCTION

The mobile communications have grown amazingly in the last years. According to a study performed by the “*Ministerio de Industria, Comercio y Turismo*” [1], HSPA (High Speed Packet Access) covered the 96% of the national territory in the first semester of 2012. However other broadband technologies such as ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) or HFC (Hybrid Fiber Coaxial) covered the 68% and the 46% of the national territory respectively. All of this allowed that the technology developed by the 3GPP (Third Generation Partnership Project), HSPA (3,5G), whose base came from the UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) technology, was one of the technologies with more projection nowadays. Moreover, the 15th of February 2013, in the Cabinet Council meeting was approved the Digital Agenda for Spain [2]. There the ultrafast broadband deployment is priority. For 2020 all the citizens must be subscribed with connections which offer speeds above 100 Mbps. Otherwise, thanks to the great development and the good reception of all the devices which use the broadband mobile technologies, the deployment of this technologies that offer ultrafast mobile connections is capital.

In most cases, the same person is attached to some communication mobile services. Smartphones and Tablets are outperforming the broadband traffic carried by the traditional devices like PCs or laptops. This evolution has been made possible by the mobile communications growth.

This revolution in broadband mobile communications promoted that it continued trying to improve the 3,5G technologies already existent and deployed all over the national territory. Then, the 4G technologies appeared with firmness, in concrete, the new proposal of the 3GPP, LTE (Long Term Evolution). All of this provoked that the Spanish companies had to start to work in order to offer the new broadband mobile service, whose characteristics and performance far exceeds the previous technologies. For this, Vodafone recently have launched the 4G service in Spain, concretely the 29th of May 2013 [4], and Orange is going to offer the service from the 8th of July 2013 [5]. *Movistar* have not pronounced anything yet. It is also certain that this technology is already running in other countries offering excellent performance.

Consequently, it is obvious that mobile communications has evolved really fast in recent times. This is the reason why it has been chosen to make this work about a mobile communication technology, in concrete UMTS.

UMTS is the most deployed technology nationally, which nowadays offers better performance regarding the coverage. Moreover, it is the starting point of the 4G emerging technologies. For all of this it seems interesting to delve into the operation of UMTS base stations, in the standard of this technology and in the knowledge of everything which is necessary to make possible the implementation of a UMTS base station.

In order to be able to implement the functionality of a base station, a thorough study of all the documents of the standard must be done. It is necessary as well to know how to generate the different channels, just as knowing which are more important and why. It is evident the advantages that offer this project. Additionally, not only it is possible to acquire a complete knowledge about UMTS, and about the procedures and techniques used for the implementation, but also it is possible to acquire a strong base in order to continue with the research of new mobile access technologies.

Therefore, the fulfilment of this work seems a great opportunity in order to start studies in mobile communications. Furthermore it involves a great base for initializing a research career in this topic.

Otherwise, it has been decided to implement the functionality of this base station with the *NI* (National Instruments) *Labview* software and the *NI USRP* (Universal Software Radio Peripheral) [6,7] hardware, which allow to study the functionality of the station until the transmission observing wireless transmissions in a real environment with his disturbances.

Finally, it is important to highlight that this project is a part of a Collaboration Grant with the *Teoría de la Señal y Comunicaciones* department. The development of this work is completed by the implementation of a receiver implemented in the same software and hardware platform.

The implementation of the base station has teaching purposes as well, due to the fact it is going to try to use this work in the subject *Comunicaciones Móviles* for the next students could do more complete experiments in the laboratory [8].

3. CONCLUSION

How it has seen after the achievement of all the tests and the analysis of the results, the results has been satisfactory. Because of that, the main downlink channels has been implemented successfully.

This offers a lot of configuration possibilities, which will allow, in the first place, to learn thoroughly how WCDMA work, and more concretely the 3GPP Release 5 does. Moreover it is shown how each channel works. Besides it is possible to change the parameters which permit to acquire great knowledge about this technology.

Otherwise, it is the beginning of a research line, as this project represents a base station implemented from scratch. Therefore all the parameters could be modified in order to improve the performance of the base station.

From the user interface it is possible to modify the main parameters of each channel, like the channelisation codes and the scrambling codes. It is also possible to introduce data patterns or random data in the channels where this action is allowed. If the user wanted to learn more, he could access to the source code belonging to the implementation of each channel and make the desired changes, which is a great advantage in regard to other implementations of WCDMA-FDD, due to the fact they are usually quite limited in this sense.

In addition, the door is open for future implementations. The work has been focused in the implementation of the main functionality of the UMTS base station downlink, which is the link between transmitter and receiver. Nevertheless, the receiver used to test the base station has been the vectorial signal analyzer VSA 89600, which is capable to act as a WCDMA-FDD (3GPP) receiver. Therefore, it is obvious that there is the possibility of growth in this project, as it will be able to implement in the near future a receiver in *Labview* platform as well. In fact, now it is working in the implementation of a functional receiver capable to decode data from the *Labview* transmitter. Otherwise, it is also possible to implement the uplink of the base station which would permit to receive signal from mobile devices.

In another way, the base station satisfy the main specifications which allow it to work. However, they are not implemented either all the Scrambling codes or all the DPCH format slots, or all the Scrambling groups for the SCH, etc. In this sphere, the base station will be able to continue being developed.

It is evident thereupon, that this is not an isolate work, but it offers a lot of future lines. The more this project were developed, the more possibilities will offer in both researching and teaching [8].

In conclusion, this work will be useful in the future because it will permit to learn very much quickly because this implementation is really practical and intuitive. Moreover this work could be used for researching as well.

1. INTRODUCCIÓN

Si algo ha crecido en los últimos años, son las comunicaciones móviles. Según muestra un estudio realizado por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo [1], la tecnología HSPA (*High Speed Packet Access*) ya cubría en el primer semestre de 2012 el 96% del territorio nacional. Sin embargo otras tecnologías de banda ancha como ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) o HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*) cubrían un 68% y un 46% del territorio español respectivamente. Esto situaba a la evolución de la tecnología desarrollada por el 3GPP (*Third Generation Partnership Project*), HSPA (3,5G), cuyos cimientos provienen de la tecnología UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), como una de las tecnologías con mayor proyección actual. Además, en la reunión del Consejo de Ministros del pasado 15 de Febrero de 2013 se aprobó la Agenda Digital para España [2]. En ella, el despliegue de la banda ancha ultrarrápida es prioritario. Para el año 2020 todos los ciudadanos españoles deben disponer de acceso a internet por encima de los 30 Mbps, y por los menos el 50% deben estar abonados a conexiones que ofrezcan velocidades por encima de los 100 Mbps. Por otro lado, con el gran desarrollo y la buena acogida de todos los dispositivos que usan las tecnologías de banda ancha móvil, el despliegue de estas tecnologías que ofrecen conexiones móviles ultrarrápidas se ha vuelto primordial.

En muchos casos, una misma persona tiene contratados varios servicios de comunicaciones móviles. Los *smartphones* y los *tablets* se están imponiendo en tráfico de banda ancha cursado a los dispositivos tradicionales como son los ordenadores de mesa. Toda esta evolución ha sido posible gracias al crecimiento de las tecnologías de comunicaciones móviles [3].

Toda esta revolución sobre las comunicaciones de banda ancha móvil provocó que se empezara a mirar más allá de las tecnologías 3,5G existentes y ya desplegadas por todo el territorio nacional. Ante el avance implacable de las nuevas tecnologías 4G, en concreto de la nueva propuesta del 3gpp, LTE (*Long Term Evolution*), las operadoras móviles españolas tuvieron que ponerse a trabajar para poder ofrecer el nuevo servicio de banda ancha móvil, cuyas características y prestaciones supera con creces a la tecnología HSPA. Por ello, Vodafone ha lanzado recientemente el servicio 4G en España, concretamente el 29 de Mayo de 2013 [4], y Orange tiene previsto lanzar el servicio a partir del 8 de Julio de este mismo año [5]. Movistar aún no se ha pronunciado al respecto. Ciertamente es también, que esta tecnología ya se encuentra desplegada en otros países ofreciendo excelentes prestaciones.

Por consiguiente, es obvio que las comunicaciones móviles han evolucionado a pasos de gigante durante los últimos tiempos, y se espera un crecimiento muy parecido en los próximos años. Por ello, se ha elegido realizar este trabajo acerca de una tecnología de comunicaciones móviles, en concreto de UMTS.

UMTS es la tecnología desplegada a nivel nacional, que hoy en día mejores prestaciones ofrece en relación a la cobertura. Además, es el punto de partida de las tecnologías emergentes de cuarta generación. Por todo ello parecía muy interesante profundizar en el funcionamiento de las estaciones base de UMTS, en el estudio del estándar de esta tecnología y en el conocimiento de todo aquello necesario que posibilita la implementación de una estación base UMTS.

Para poder implementar la funcionalidad de una estación base, hay que hacer un estudio exhaustivo de todos los documentos del estándar de la tecnología en cuestión, conocer cómo se generan los distintos canales, saber cuáles son más importantes y porqué. Resultan

evidentes las ventajas que ofrece realizar este trabajo. Además de adquirir un conocimiento completo acerca de UMTS, y de todos los procedimientos y técnicas usadas en su implementación, se puede adquirir una base muy firme para poder continuar en la investigación de las nuevas tecnologías de acceso móvil que parten de esta y que utilizan muchos conceptos que se generaron en este punto.

Por lo tanto, la realización de este trabajo parece una gran oportunidad de adentrarse en el mundo de las comunicaciones móviles y aporta una gran base para poder lanzar una tarea investigadora en este ámbito.

Por otro lado, se ha decidido implementar la funcionalidad de la estación base con el *software* de NI (*National Instruments*) *Labview* y el *hardware* NI USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) [6,7], lo cual permite estudiar la funcionalidad de la estación hasta la misma transmisión y poder observar los resultados con transmisiones inalámbricas reales, lo cual introducirá las perturbaciones que pueden surgir en un entorno real.

Por último, cabe destacar que este proyecto se enmarca dentro del trabajo de una Beca de Colaboración con el departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. El desarrollo de lo que se presenta en este trabajo se complementa con la implementación de un receptor funcional sobre la misma plataforma *software* y *hardware*, sobre el cual, aún se está trabajando.

La implementación de la estación base que se presenta en este proyecto, además tiene fines docentes [8], ya que se desea utilizar en el laboratorio de la asignatura de Comunicaciones móviles para que los futuros estudiantes puedan realizar prácticas más completas, y no tengan problemas con el número de equipos para su consecución.

1.1 OBJETIVOS

Los principales objetivos buscados en la realización de este trabajo son los siguientes:

- Iniciación a las comunicaciones móviles. Con este trabajo se pretende adquirir las bases que permitan iniciar una tarea investigadora relacionada con las comunicaciones móviles.
- Conocimiento profundo de una de las tecnologías de comunicaciones móviles más usadas en la actualidad, como es UMTS.
- Aprender a leer y usar la información proporcionada en un estándar. Generalmente, los estándares proporcionan una gran cantidad de información. En muchos casos, es mucho más amplia de lo que se necesita para realizar un estudio de algo concreto. Es muy importante saber interpretar y extraer lo que es necesario para realizar un trabajo determinado.
- Implementación de la funcionalidad de la estación base de UMTS en un *software* completamente nuevo, de programación gráfica, como es NI *Labview* y que permite la conexión de *hardware* específico para poder realizar transmisiones de verdad. Con ello se pretendía además de aprender un lenguaje de programación nuevo, poder enfrentarse a los problemas reales que conlleva el trabajo con *hardware* y la propagación inalámbrica en un entorno real.
- Familiarización con material del laboratorio de comunicaciones móviles. Para la realización de diversas pruebas, es necesario utilizar los distintos dispositivos de análisis disponibles en el laboratorio de comunicaciones móviles.

- Implementación de una estación base con fines docentes. El contenido de este proyecto podrá ser usado en el futuro por los estudiantes que cursen la asignatura de Comunicaciones Móviles [8].

1.2 ESTADO DEL ARTE

En la actualidad existen numerosos modelos de WCDMA FDD (*Wideband Code Division Multiple Access- Frequency Division Duplexing*), tal como marca el estándar de UMTS implementados, pero existen muy pocos que ofrezca prestaciones completas a un precio no desorbitado.

Por ejemplo, *Mathworks*® tiene implementado un modelo en *Simulink*® de la capa física de WCDMA FDD [9]. Sin embargo entre la transmisión y la recepción se introduce un ruido blanco que es una situación ideal de perturbación producida por el entorno. Aunque esto puede ser modificado fácilmente, en la recepción se evita cualquier tipo de problema real producido por la falta de sincronización, o por perturbaciones introducidas por el entorno radioeléctrico. Además, los parámetros modificables en la transmisión son reducidos y poco intuitivos. Por ejemplo, la información transmitida en el canal de datos DPCH (*Dedicated Physical Channel*) es aleatoria y no permite enviar patrones definidos por el usuario.

Por otro lado, *Agilent* también tiene implementado un modelo WCDMA FDD del 3GPP muy completo [10,11]. Ofrece innumerables posibilidades de configuración de parámetros de los distintos canales. Permite activación y desactivación de canales, cambios de códigos, introducción de patrones, cambios de amplitudes para cada canal, cambio de frecuencias de portadora. Sin embargo, presenta dos defectos principalmente. El primero y fundamental es su elevado precio, motivo por el cual sólo se dispone de una unidad en el laboratorio de investigación de comunicaciones. Además, no permite gestionar conexiones, lo cual el NI USRP sí lo permite. Aunque no venga implementado por defecto para el sistema, podrá ser desarrollado en un futuro.

Existe también una implementación desarrollada por *Rohde&Schwartz* [12,13] prácticamente equivalente a la del *Agilent*. Pero de nuevo presenta el inconveniente del elevado precio de adquisición, y la imposibilidad de profundizar en el diseño de los canales y de los códigos que si permite la implementación diseñada sobre *Labview*.

Por ello, este trabajo es muy interesante, porque además de ofrecer gran número de posibilidades de configuración de los parámetros de los canales, al igual que hace el modelo propuesto por *Agilent* o *Rohde&Schwartz*, permite una adquisición de equipos mucho más asequible desde el punto de vista económico.

Adicionalmente, esta implementación es mucho más instructiva que la propuesta por *Agilent*, puesto que se pueden realizar todo tipo de modificaciones en los canales, y se puede observar la construcción, de forma gráfica, de cada uno de ellos. Además, actualmente ya se está trabajando en la implementación de un receptor con una funcionalidad básica que permita realizar el análisis de la señal transmitida desde la estación base implementada también desde *Labview*.

1.3 MARCO REGULATORIO

Para poder entender bien la regulación actual en España, es importante conocer cómo ha evolucionado esta desde sus inicios.

Durante los primeros años de desarrollo de las comunicaciones móviles, era necesario que el sector creciese lo más rápido posible para conseguir de esa forma afianzarse en el mercado. Por lo tanto, el marco regulador aplicó en sus inicios, y más concretamente hasta 2006, una política poco intrusiva, que fomentara la inversión de los operadores. Sin embargo, esto no significaba que los precios tuvieran que tender a subir. En realidad los precios de los servicios bajaban progresivamente, acorde a la recuperación de las inversiones realizadas.

Otro momento importante para la regulación de las comunicaciones móviles fue el año 2000, cuando se les obligó a los operadores a presentar una contabilidad de costes a la CMT. Entonces, Telefónica Móviles España fue declarada operador dominante de mercado y tuvo que empezar a cumplir una serie de obligaciones en cuanto a acceso a red, interconexión y precios.

A partir del 2006 la CMT comenzó a confeccionar un marco regulatorio más exigente con los operadores. Se establecieron los precios máximos de terminación de llamada, la obligación de alquiler de líneas, que provocó la aparición de los operadores virtuales móviles; se introdujo la obligatoriedad de tarificación por segundos, se redujeron los precios de itinerancia en Europa, etc.

También en este periodo, la ETSI comenzó a fijar los baremos de calidad de servicios obligatorios para las comunicaciones móviles. En este aspecto, España fue pionera en aplicar las directrices.

En lo que concierne directamente a UMTS, cabe destacar que en España las licencias se ofrecieron mediante concurso. En Europa sin embargo se otorgaron mediante subasta. Los operadores españoles que acapararon las licencias fueron Telefónica Móviles, Vodafone, Amena y Xfera.

Actualmente, se está luchando por adaptar el Marco Regulatorio español al Marco Regulatorio Europeo de 2009, el cual da un paso más con respecto a las anteriores regulaciones, y propone una separación funcional de las empresas. De esta forma se combate con aquellas compañías cuya integración vertical es total y evitan así que por ejemplo empresas como Telefónica que tienen una red, y además ofertan servicios usando esa red, cobren ventaja con respecto a las operadoras que deben alquilar la red a Telefónica para operar. Resulta evidente que aquellas compañías que presentan economías de escala, y que pueden agrupar costes y encuentran beneficios en el aumento de la productividad y la oferta de más servicios, tienen ventaja frente a aquellas de reciente aparición, más pequeñas, que ofertan menos servicios. Entonces la solución propuesta por el nuevo Marco Regulatorio es evitar esas grandes economías de escala de las empresas impidiendo la integración simultánea de infraestructura y servicios.

Por otro lado, en España existe un decreto que define las restricciones a las emisiones radioeléctricas y las medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas [14].

A continuación se muestran dos tablas donde se pueden observar las restricciones básicas para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, y niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos respectivamente:

Gama de Frecuencia (f)	Inducción magnética (mT)	Densidad de corriente (mA/m ²) rms	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR Localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR Localizado (miembros) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m ²)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
T0-1 Hz	-	8	-	-	-	-
1-4 Hz-	-	8/f	-	-	-	-
4-1.000Hz	-	2	-	-	-	-
1.000 Hz-100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
100 kHz-10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz-10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10-300 GHz	-	-	-	-	-	10

Tabla x.x Restricciones básicas para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0 Hz-300 GHz)

Gama de frecuencia (f)	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (xT)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0-1 Hz	-	3,2 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴	
1-8 Hz	10.000	3,2 x 10 ⁴ /f ²	4 x 10 ⁴ /f ²	
8-25 Hz	10.000	4.000/f	5.000/f	
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	-
1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	-
10-400 MHz	28	0,73/f	0,092	2
400-2.000 MHz	1,375 f ^{1/2}	0,73/f ^{1/2}	0,0046 f ^{1/2}	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabla x.x Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0 Hz-300 GHz, valores rms imperturbados)

Todos los equipos con los que se ha trabajado, cumplen los requisitos mostrados aquí a modo resumen. En concreto, el transmisor del NI USRP 2920, transmite con una potencia entre 50mW y 100mW en el rango de frecuencias de 50MHz a 1,2GHz; y entre 30mW y 70mW en el rango entre 1,2GHz y 2,2GHz [15]. Como se ha dicho anteriormente, el decreto completo que contempla toda la normativa puede verse en [16].

1.4 DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO

A lo largo de este documento se podrá adquirir una pequeña visión acerca de UMTS. Tras la lectura de la primera sección se podrán conocer los principales principios por los que se

decidió desarrollar este estándar, que tecnología de acceso se seleccionó, cuáles son sus principios y conceptos, así como las distintas peculiaridades y prestaciones que ofrece.

Posteriormente se hará un estudio acerca de lo que se ha decidido implementar para desarrollar la funcionalidad de la estación base. Se expondrán los distintos principios que son necesarios conocer y realizar, así como la información necesaria para llevarlo a cabo. De esta forma se conocerá cómo actúa realmente el modulador de esta tecnología, se conocerá cómo funciona WCDMA en cuanto a los códigos utilizados y formación de dichos códigos, y las pautas marcadas para la formación de los distintos canales.

Adicionalmente, se presentará cómo se han implementado todos los hitos marcados en el diseño de la funcionalidad de la estación base. Se intentará exponer de forma clara cómo se ha abordado cada parte del trabajo, es decir, como se implementan los códigos en *Labview*, y cómo se generaron los distintos canales. También se mostrará el funcionamiento del transmisor y los distintos parámetros que se pueden usar para conformar la transmisión como desee el usuario.

Por último se presentarán una sección que mostrará las distintas pruebas realizadas para corroborar el correcto funcionamiento de la estación base y los distintos resultados obtenidos de estas pruebas.

2. UMTS

UMTS es uno de los estándares pertenecientes a la tercera generación (3G), los cuales surgieron tras el paso y explotación de los servicios digitales de la segunda generación de comunicaciones móviles. Con GSM (*Global System for Mobile*), que fue la tecnología que más se desarrolló a nivel mundial, se disponía de un servicio de voz con unas prestaciones muy interesantes. Sin embargo, los usuarios a finales de los años 90, ya demandaban otro tipo de servicios. Estos principalmente eran servicios de datos multimedia. En este momento, GSM quedaba obsoleto, y la necesidad de una nueva tecnología parecía bastante necesaria. Dicha tecnología abriría innumerables oportunidades de mercado, lo cual supondría una verdadera revolución.

WCDMA fue la tecnología elegida en la mayoría de las instituciones de estandarización para llevar a cabo dicho cometido. Su especificación fue creada por el 3GPP que es el proyecto conjunto de estandarización que integra instituciones de Europa, Corea, Japón, EEUU y China. La especificación del 3GPP presentaba dos posibles soluciones, WCDMA-FDD y WCDMA-TDD (*Wideband Code Division Multiple Access- Time Division Duplexing*), es decir, una primera opción con duplexión en frecuencia, y una segunda con duplexión en tiempo. La opción que más importancia cobró a nivel mundial fue su versión con FDD, aunque la versión TDD se utiliza actualmente en hot-spots.

2.1 REQUERIMIENTOS DE LA TERCERA GENERACIÓN

A modo resumen, se presenta una lista con las especificaciones de requerimientos de la tercera generación:

- Tasas binarias por encima de 2 Mbps
- Tasas binarias variables para poder ofrecer ancho de banda bajo demanda.
- Multiplexación de varios servicios con distinta calidad de servicio en una misma conexión. Por ejemplo video y paquetes de datos.
- Cumplimiento de una serie de requerimientos en cuanto al retardo para garantizar tráficos en tiempo real y además ofrecer flexibilidad *best-effort* (mejor esfuerzo) en paquetes de datos.
- BER (*Bit Error Rate*) inferior a 10^{-6}
- Coexistencia de los sistemas de segunda y tercera generación, permitiéndose realizar *handovers* (traspasos) entre distintos sistemas.
- Posibilidad de ofrecer tráfico asimétrico entre el *uplink* (enlace de subida) y el *Downlink* (enlace de bajada).
- Alta eficiencia espectral. Unos 0,53 bps/Hz en el *downlink* y unos 0,332 bps/Hz en el *uplink*.
- Coexistencia de los modos FDD y TDD.

En la siguiente tabla se presenta a modo resumen las diferencias entre los sistemas WCDMA y GSM, lo cual servirá para situar un poco mejor las diferencias entre ambos y comprender así la evolución que se produjo con los sistemas de tercera generación.

	WCDMA	GSM
ANCHO DE PORTADORA	5 MHz	200 kHz
FACTOR DE REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIA	1	1-18
FRECUENCIA DE CONTROL DE POTENCIA	1500 Hz	2 Hz o menor
CONTROL DE CALIDAD	Algoritmos de gestión de recurso radio	Planificación de red (planificación de frecuencia)
DIVERSIDAD DE FRECUENCIA	5 MHz de ancho de banda aporta diversidad por multitrayecto con receptores <i>Rake</i>	Salto de frecuencia
DIVERSIDAD DE TRANSMISIÓN EN EL DOWNLINK	Soportado para mejorar la capacidad del <i>downlink</i>	No soportado por el estándar, pero puede ser aplicado

Tabla 2.1: Comparativa WCDMA GSM

2.2 CORE NETWORKS (NUCLEO DE RED)

En un principio, se trató de que todas las tecnologías, tanto predecesoras como aquellas que surgieron con la tercera generación, fueran compatibles unas con otras. El objetivo era que el *Roaming* (Itinerancia) fuera mucho más potente a partir de entonces. Sin embargo esto requería que los distintos operadores se pusieran de acuerdo y se establecieran distintos *gateways* (pasarelas) para que las redes de los sistemas usados por los operadores pudieran comunicarse unas con otras. El proceso no fue fácil y a día de hoy aún no se ha conseguido completamente. Sin embargo sí que se consiguió uno de los principales objetivos a la perfección, que fue la interoperabilidad entre GSM y WCDMA-FDD. Quizás este fue el detonante de WCDMA-FDD y lo que le permitió crecer de la forma que lo ha hecho hasta día de hoy, posibilitando que esta sea la tecnología de tercera generación más difundida por todo el mundo.

2.3 SERVICIOS Y APLICACIONES DE UMTS

La característica principal introducida por UMTS es la nueva tasa binaria. En entornos rurales, con movilidad total es capaz de alcanzar los 144 Kbps. En espacios abiertos alcanza los 384 Kbps. Finalmente en entornos con baja movilidad llega hasta los 2 Mbps. Estas tasas facilitan la introducción de nuevos servicios, como aplicaciones en tiempo real. Otra característica introducida muy importante para la *QoS* (*Quality of Service*) fue la posibilidad de negociación de portadora. El usuario, desde el nivel de aplicación, podrá solicitar una portadora que le preste ciertas características como *throughput* (rendimiento), retardo máximo, etc.

Para definir las pautas de la calidad de servicio, en UMTS se distinguieron 4 tipos de tráfico:

- Conversacional
- *Streaming* (flujo)
- Interactivo
- Clases de fondo

2.4 INTRODUCCIÓN A WCDMA

Como se ha explicado anteriormente, la tecnología de acceso elegida para la tercera generación fue WCDMA. Las principales características de esta tecnología son las siguientes:

- WCDMA se conoce como Acceso Múltiple por División de Código de Secuencia Directa de Banda Ancha (DS-SS-CDMA (*Direct Sequence – CDMA*)). Los bits de información son ensanchados hacia la obtención de un mayor ancho de banda gracias al uso de unos bits quasi-aleatorios llamados chips que proceden de los códigos de ensanchamiento de CDMA (*Code Division Multiple Access*). Mediante el uso de diferentes códigos de ensanchamiento es cómo se obtienen distintas tasas de transmisión.
- La tasa de chip es constante e igual a 3,84 Mcps. Esta tasa de chip hace que la portadora tenga un ancho de banda de aproximadamente 5MHz.
- Cada trama tiene una duración de 10 ms. Durante ese tiempo la tasa de usuario se mantiene constante. En distintas tramas la tasa puede variar dependiendo del código de *Spreading* (Ensanchamiento) usado.
- WCDMA soporta dos modos de funcionamiento: FDD y TDD. En FDD tanto el *uplink* como el *downlink* poseen portadoras de 5MHz. Por el contrario el modo TDD tiene una única portadora de 5MHz y lo que se comparte entre el *uplink* y el *downlink* es el espacio temporal.
- WCDMA emplea detección coherente en el *uplink* y el *downlink* mediante el uso de una serie de símbolos denominados pilotos.
- WCDMA presenta técnicas avanzadas de detección multiusuario y antenas adaptativas inteligentes, que ayudan a mejorar la capacidad y la cobertura para el usuario.
- WCDMA está diseñado para poder operar junto a GSM. Por lo tanto, los traspasos entre GSM y WCDMA son posibles.

2.4.1 SPREADING Y DESPREADING (ENSANCHAMIENTO Y DESENSANCHAMIENTO)

En primer lugar, hay que asumir que los valores de los bits son +1 y -1. Para entender cómo funcionan las técnicas de *Spreading* es mejor estudiar un ejemplo. Por lo tanto, lo que ocurre al ensanchar una secuencia de bits con un factor de ensanchamiento SF (*Spreading Factor*)=8, es lo que se observa en la siguiente figura:

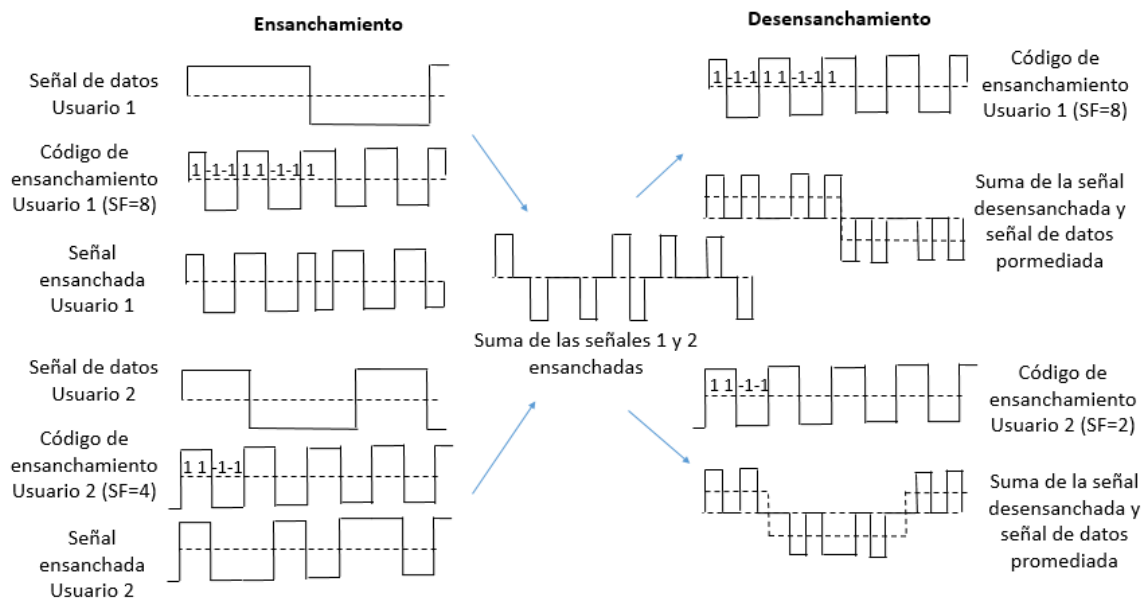


Figura 2.4.1: Proceso de Spreading y Despreading

Como se observa, en el proceso de *despreading*, se repite el proceso. Se multiplica la señal por el mismo código que se había multiplicado en el origen, y se obtiene como resultado la

secuencia original. La secuencia original es la representada con línea punteada en el lado de *Despreading*.

2.4.2 CONTROL DE POTENCIA

Es uno de los aspectos más importantes en WCDMA, principalmente en el *uplink*, porque un terminal móvil transmitiendo a una potencia demasiado elevada podría bloquear la celda entera. Por lo tanto en WCDMA se intenta mantener unos niveles de potencia aceptables que garanticen el funcionamiento óptimo de la red. Esto incurrirá en una disminución de la interferencia, un aumento de la capacidad, tener una calidad más o menos constante y por último un ahorro considerable de las baterías.

A modo resumen, se distinguen principalmente dos tipos, control de potencia en lazo abierto y en lazo cerrado. Este último a su vez se divide en otros dos tipos, lazo cerrado interno y lazo cerrado externo. Cada una de las variantes tienen funciones distintas, y todas juntas consiguen controlar la potencia de tal forma que se optimizan las cualidades anteriormente mencionadas.

2.5 ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO RADIO

A continuación se explican los elementos más importantes de la red UMTS:

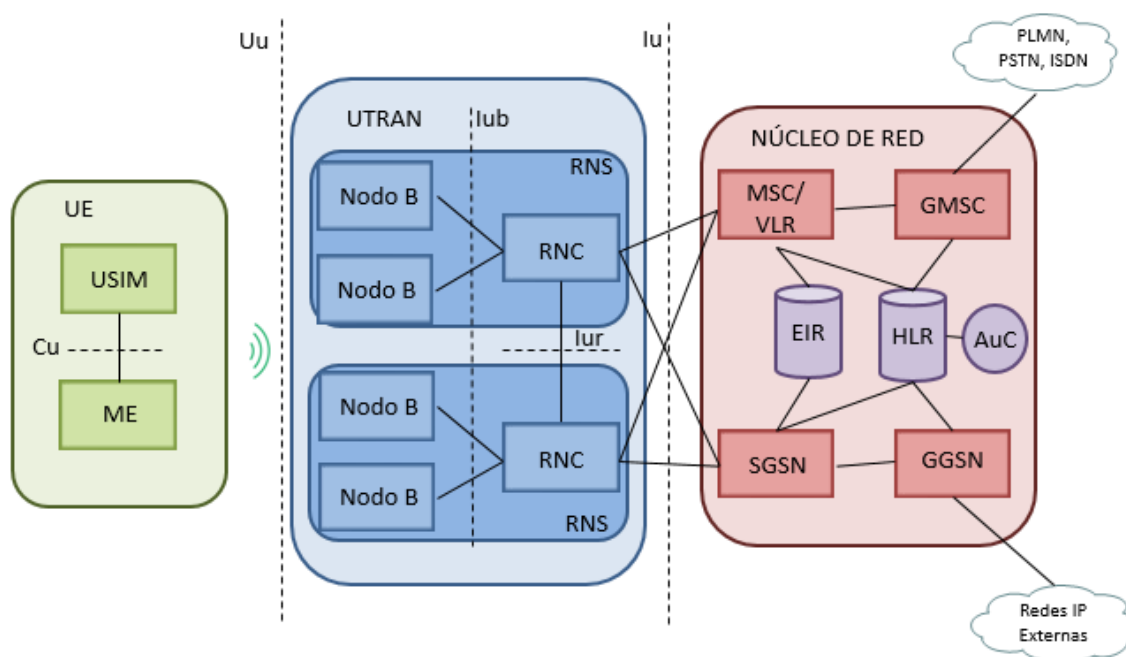


Figura 2.5: Arquitectura de la Red de Acceso

2.5.1 UTRAN (UMTS Radio Access Network)

Es la red de acceso de UMTS. Contiene los siguientes elementos:

- UE (*User Equipment*): Es el terminal de usuario.
 - USIM (*Universal Subscriber Identity Module*): SIM de UMTS.
 - ME (*Mobile Equipment*): Terminal móvil físico.
- RNS (*Radio Network Subsystem*): Formado por:
 - Node B: Es la estación base (RBS)
 - RNC (*Radio Network Controller*): Controla varias estaciones base y las conecta al resto de la red.

2.5.2 CORE NETWORK (Red de tránsito)

Es el núcleo de la red. Está formado por los siguientes elementos:

- MSC (*UMTS Mobile Switching Center*): Se usa en caso de conmutación de circuitos.
- GMSC (*UMTS Gateway Mobile Switching Center*): Pasarela de conexión a otras redes de conmutación de circuitos.
- SGSN (*Serving GPRS Support Node*): Se usa en caso de conmutación de paquetes.
- GGSN (*Gateway GPRS Support Node*): Pasarela de conexión a otras redes de conmutación de paquetes.
- VLR (*Visitor Location Register*): Guarda los datos más necesarios de los usuarios de un MSC.
- HLR (*Home Location Register*): Base de datos encargada de la gestión de usuarios a nivel global.
- EIR (*Equipment Identity Register*): Es el registro de identidades de usuario.
- AuC (*Authentication Unit Center*): Centro de autenticación de usuarios.

Interfaces de la UTRAN:

- Interfaz Cu: Entre ME y USIM.
- Interfaz Uu: Entre UE y Nodo B.
- Interfaz Iu: Entre RNC y CN.
- Interfaz Iub: Entre RNC y Nodo B.
- Interfaz Iur: Entre dos RNC.
 - Aparece nuevo en UMTS y facilita el *soft-handover* (traspaso suave).

2.6 CAPA FÍSICA

La capa física constituye el principal foco de comparación entre unos sistemas celulares y otros. Los aspectos principales a considerar en cuanto a la capa física de un sistema es la SIR (*Signal to Interference Ratio*), la capacidad que ofrece, los servicios que presenta, la flexibilidad que ofrece para futuras ampliaciones de servicios, etc.

En UMTS se decidió hacer la siguiente división en cuanto a los canales. En primer lugar, se establecieron una serie de **canales lógicos**, los cuales se definen por el tipo de información que transmiten. En este grupo se diferencian dos tipos de canales, los de tráfico, que envían la información a transmitir por los usuarios; y los de control, que envían los datos de señalización que permiten que la comunicación pueda llevarse a cabo y esté lo más optimizada posible.

En el siguiente escalón de la jerarquía, se encuentran los **canales de transporte**. Los canales de transporte definen las características de la información que se transmite. Por lo tanto, hay varios formatos de canal de transporte. Estos canales definen la longitud del bloque de transporte, el tipo de codificación, tipo y profundidad de entrelazado, tasa de transmisión y además llevan la asignación correspondiente a cada uno de los canales físicos.

Por último, se encuentran los **canales físicos**, que se definen como las estructuras que finalmente se usan para transmitir la información. Estos canales contienen implícitamente multitud de información, acerca por ejemplo de la frecuencia de portadora, códigos de canalización, códigos de aleatorización, intervalo de tiempo de transmisión, fase relativa (en enlaces ascendentes), etc.

2.6.1 CANALES DE TRANSPORTE

Todo canal de transporte lleva asociado un TFI (*Transport Format Indicator*), que sirve para indicar el tipo de canal de transporte a las capas superiores. Existe una variación de este canal llamado TFCI (*Transport Format Combination Indicator*) que lo utiliza la capa física al transmitir para poder indicar al receptor el tipo de canal de transporte que está recibiendo.

Existen dos tipos de formato de transporte, los canales de transporte dedicados, y los canales de transporte comunes.

Sólo hay un canal de transporte dedicado, conocido como DCH (*Dedicated Channel*). La información propia de transporte del canal no es visible para la capa física. En él se transporta información útil para los *handovers* (soporta *soft-handovers*) o información para las capas superiores. Además como sólo existe un único canal dedicado, favorece la aparición de un control más rápido de potencia, de una variación de tasas rápida entre slots, e incluso la posibilidad de transmisión a una parte de una celda o sector variando los pesos de las antenas usando la diversidad de antenas.

En cuanto a los canales comunes de transporte, existen seis diferentes. Cabe destacar que estos canales no soportan *soft-handovers*. Los canales comunes de transporte son los siguientes:

- *Broadcast Channel* (BCH)
Se usa para transmitir información específica de la red por toda la celda. Este canal requiere la transmisión con una alta potencia con el fin de llegar a todos los usuarios dentro de la celda. La tasa de transmisión del BCH está limitada a la capacidad de los terminales y como consecuencia de ello, la tasa es baja y adaptada a todos los terminales.
- *Forward Access Channel* (FACH)
Es un canal de transporte de bajada que porta información de control, que sirve para localizar a terminales conocidos en una celda determinada. El significado de terminal conocido es aquel que ha sido autenticado en la celda previamente. Puede haber más de un FACH en una misma celda y se usa por ejemplo como contestación tras el envío por parte de un terminal de un mensaje de acceso aleatorio. Al igual que el BCH se transmite a tasas bajas para que pueda ser recibido por todos los usuarios de una misma celda.
- *Paging Channel* (PCH)
Es un canal de transporte de bajada que se usa cuando se quiere iniciar la comunicación con un terminal. En ese momento la red envía un mensaje de *paging* (localización) a aquellas celdas que sean necesarias. El diseño del canal de *paging* afecta al consumo de potencia de un terminal en *stand by*.
- *Random Access Channel* (RACH)
Es un canal de transporte de subida que se usa desde el terminal para solicitar una determinada conexión. También puede usarse para transmitir pequeñas cantidades de datos desde el terminal a la red. Suelen ser usados con pequeñas tasas de transmisión.
- *Uplink Common Packet Channel* (CPCH)
Es una extensión del RACH y se usa para transmitir paquetes procedentes del usuario en el enlace de subida. Su pareja del enlace de bajada es el FACH.

- *Downlink Shared Channel (DSCH)*

Como su propio nombre indica, se usa para transportar información dedicada de un usuario concreto, ya sea de tráfico o de control. Es parecido al FACH, pero este canal soporta control de potencia rápido así como tasas variables de transmisión. Este canal no tiene por qué ser escuchado en toda la celda y por ello puede implementar los diferentes modos de transmisión.

2.6.2 CORRESPONDENCIA DE CANALES DE TRANSPORTE EN CANALES FÍSICOS

Para entender bien cuál es la correspondencia de los canales transporte a los físicos, es importante ver el proceso completo desde los canales lógicos. Esto se puede observar en la siguiente imagen:

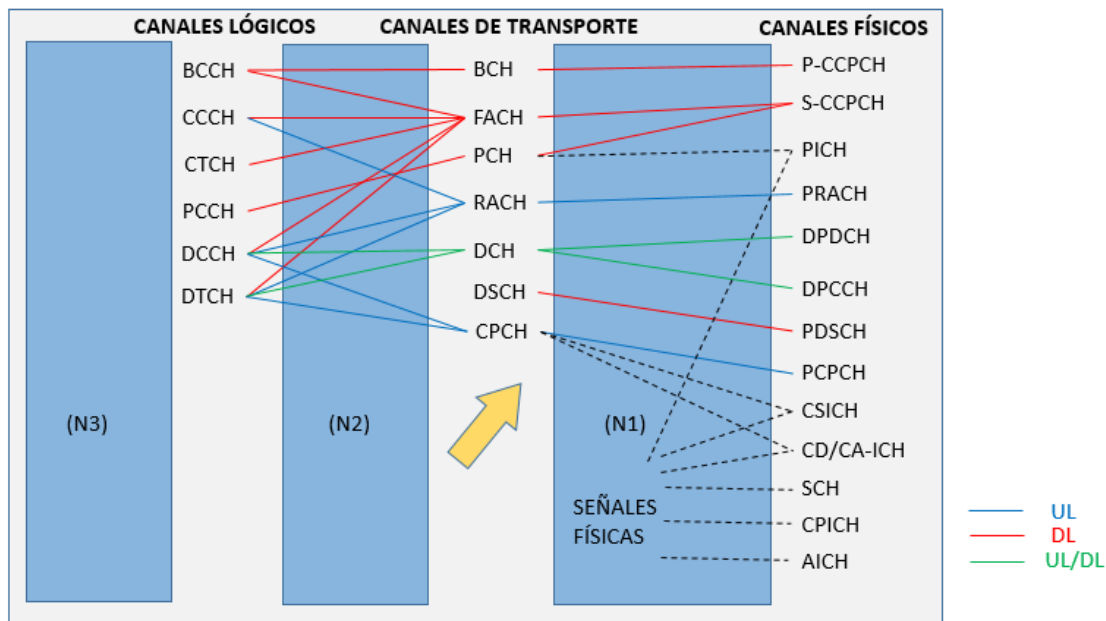


Figura 2.6.2: Correspondencia de Canales Lógicos, de Transporte y Físicos

Hay unos canales físicos que no provienen de un canal de transporte, sino que sólo portan información relevante de la capa física. Estos canales son:

- SCH (*Synchronisation Channel*)
- CPICH (*Common Pilot Channel*)
- AICH (*Acquisition Indicator Channel*)

Por otro lado, es importante destacar también que el canal de transporte DCH se corresponde con dos canales físicos, el DPDCH (*Dedicated Physical Data Channel*) que transporta la información del usuario y que puede ser variable entre tramas distintas, y el DPCCH (*Dedicated Physical Control Channel*) que lleva la información dedicada de control y es fija a todas las tramas.

2.6.3 ESTRUCTURA DE LA TRAMA DE CANALES DE TRANSPORTE

Los canales de la UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) usan una estructura de trama de 10 ms de duración. El SFN (*System Frame Number*) es un número de 12 bits que se usa en bastantes procedimientos que ocupan a más de una única trama, como por ejemplo el procedimiento de *paging*. La estructura general de una trama puede verse en la siguiente figura:

Slot #0	Slot #1	Slot #2	Slot #3	Slot #4	Slot #5	Slot #6	Slot #7	Slot #8	Slot #9	Slot #10	Slot #11	Slot #12	Slot #13	Slot #14
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	----------	----------	----------	----------

1 Trama: $T_{\text{trama}}=10$ ms. 38400 chips por trama.

Figura 2.6.3 Estructura Genérica de una Trama

2.6.4 ENSANCHAMIENTO Y MODULACIÓN

En esta sección se muestra el proceso característico de WCDMA, el proceso de ensanchamiento y aleatorización. Mediante la siguiente figura, se pueden observar las principales bases sobre las que se sustenta la técnica de acceso:

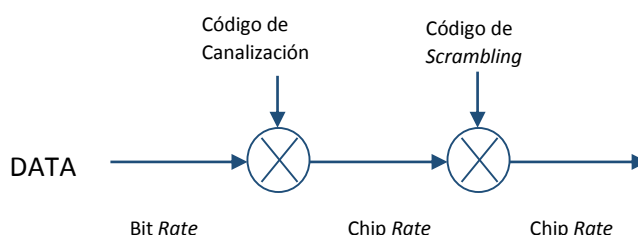


Figura 2.6.4: Procesado en Banda Base Genérico

2.6.4.1 CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN

La formación de los códigos de *Spreading* o canalización es muy sencilla y puede entenderse mediante el siguiente árbol:

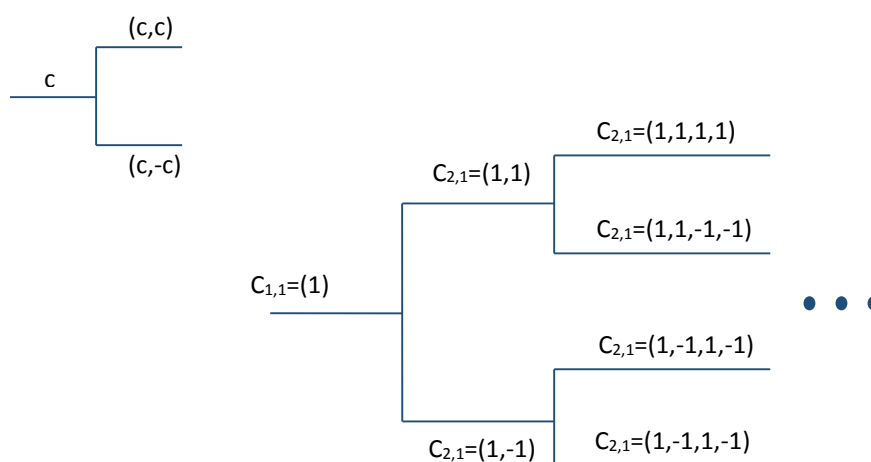


Figura 2.6.4.1: Árbol de Códigos de Canalización

Como se puede observar, en la rama que evoluciona por la parte posterior, se repite la secuencia de la que procede exactamente igual, y en la rama de debajo la secuencia se repite negada.

Estos códigos son ortogonales entre sí y además pueden tener distinto factor de ensanchado (longitud del código). Por ello se conocen como códigos OVFS (*Orthogonal Variable Spreading Factor*). El problema de estos códigos es que sólo son ortogonales si hay sincronización perfecta en transmisión, lo cual es improbable. Por eso son necesarios los códigos de *Scrambling* (aleatorización).

Además, cabe destacar que la longitud de los códigos es igual a su factor de ensanchado en cada paso. Por otro lado, todos los códigos son ortogonales entre sí, excepto en la situación siguiente:

- Dado un código determinado, toda la rama de la que procede y todos los códigos salientes de él mismo.

2.6.4.2 CÓDIGOS DE SCRAMBLING

Tras el proceso de *Spreading*, la secuencia se multiplica por otro código que no modifica el ancho de banda pero que permite diferenciar unas secuencias de otras. Estos son los códigos de *Scrambling*, los cuales van justo después que el *Spreading* en el proceso de modulación de la señal. Con los códigos de *Scrambling* se soluciona el problema de que se hayan podido transmitir varias secuencias con el mismo código de *Spreading*. Posteriormente, en el apartado de Diseño, podrá verse de forma detallada el desarrollo necesario para la construcción de los códigos de *Scrambling*.

2.6.5 SPREADING Y MODULACIÓN EN EL DOWNLINK

Para el *downlink* se ha elegido una modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) con multiplexación en tiempo de los flujos de control y de datos. Esto se puede hacer porque en el *downlink* no importa que se genere interferencia audible durante la transmisión discontinua, ya que por ejemplo, los canales comunes presentan transmisión continua en cualquier caso. Además, como existen bastantes canales que se envían en paralelo, no es relevante la optimización del PAR. La transmisión discontinua se consigue mediante la habilitación e inhabilitación de la transmisión.

2.6.5.1 ENSANCHAMIENTO EN EL ENLACE DE BAJADA

El *Downlink* utiliza para realizar el ensanchamiento de la secuencia de entrada los códigos de canalización descritos en el apartado 2.6.4.1. La asignación de unos códigos u otros para cada canal será definido por las capas superiores.

2.6.5.2 ALEATORIZACIÓN EN EL ENLACE DE BAJADA

Hay dos alternativas en WCDMA-FDD de códigos de aleatorización: Los códigos de *Scrambling* cortos y los largos. Los códigos largos tienen un tamaño de 38400 chips, mientras que los cortos son de 256 chips. Los códigos largos son usados cuando la estación base en cuestión usa receptores *Rake*. Los códigos cortos se suelen usar para hacer el proceso de recepción más fácil y rápido. En el *downlink* se suele usar un único código de *Scrambling* por celda.

Los códigos de *Scrambling* se forman como los conocidos códigos Gold. En el *downlink* siempre se usan los códigos largos. El periodo del código corresponde a los 10 ms que dura una trama, y por lo tanto son de longitud fija igual a 38400 chips.

En la práctica, existen 512 grupos de 16 códigos de *Scrambling* cada uno. Estos 512 grupos a su vez se encuentran divididos en 64 conjuntos de 8 grupos cada uno. Posteriormente se verá cómo el canal de sincronización aporta la información sobre el conjunto (64 conjuntos) de *Scrambling* con el que trabaja la estación base. El total de códigos por tanto que se usan principalmente son 8.192 códigos (512 x 16), aunque hay disponibles 24.576 y se pueden generar hasta $2^{18}-1$. En cada grupo de 16 códigos, el primer código es conocido como código primario, y el resto como secundarios.

Cabe destacar, que se suelen usar los códigos primarios, y los secundarios suelen usarse para aplicar técnicas de diversidad o cuando no hay primarios disponibles.

2.7 CANALES FÍSICOS IMPLEMENTADOS

DPCH (*Dedicated Physical Channel*) (*Downlink*)

Es el canal físico asociado al canal de transporte DCH en el enlace descendente. Transporta la información de usuario y control multiplexada en tiempo en las componentes I y Q de la modulación QPSK.

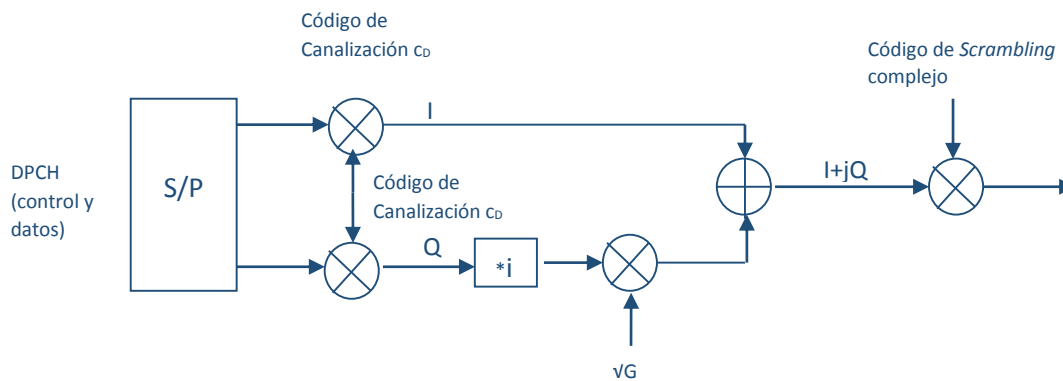


Figura 2.7: Procesado en Banda Base canal DPCH

P-CCPCH (*Primary Common Control Physical Channel*) (*Downlink*)

Es el canal físico asociado al BCH que se transmite multiplexado junto al SCH en cada una de las celdas con un formato único para cada una de ellas.

2.7.1 SEÑALES FÍSICAS IMPLEMENTADAS

CPICH (*Common Pilot Channel*) (*Downlink*)

Canal físico de pilotos que permite la funcionalidad de diversidad en la transmisión y que sirve de referencia de fase.

SCH (*Synchronisation Channel*) (*Downlink*)

Es el canal de sincronización. Además sirve para identificar la celda y detectar los grupos de códigos usados por la estación base de cara al usuario.

PICH (*Paging Indicator Channel*) (*Downlink*)

Transporta indicadores de localización como ayuda al canal S-CCPCH.

En la siguiente imagen se puede ver de forma detallada cómo se produce la correspondencia desde los canales lógicos a los físicos pasando por los canales de transporte de los canales implementados en este trabajo:

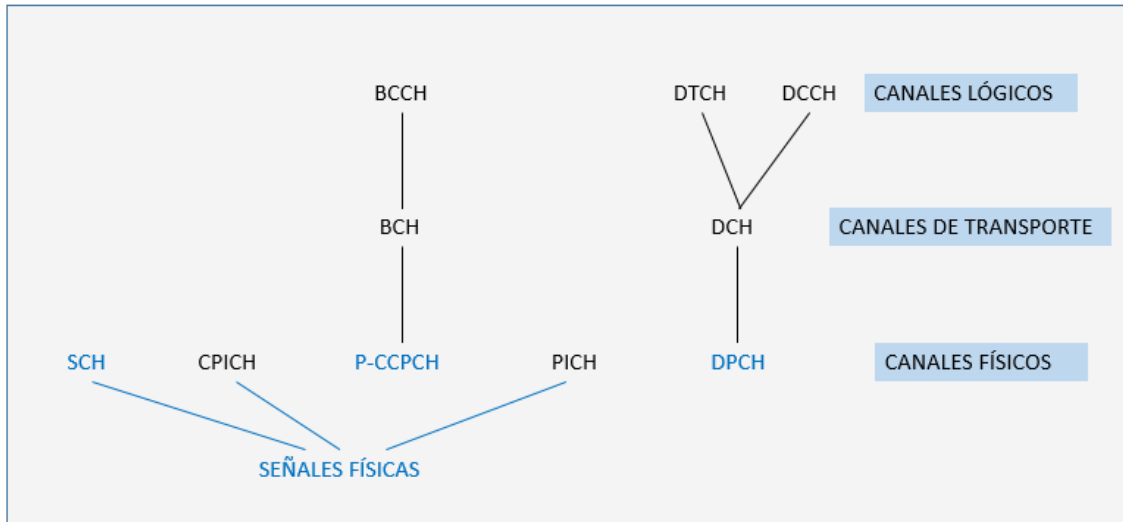


Figura 2.7.1: Correspondencia Canales Implementados

3. HARDWARE

Con la finalidad de hacer posible la realización de simulaciones en entornos reales dentro del laboratorio, ha sido necesario apoyarse en una serie de dispositivos *hardware*. Dichos dispositivos se detallan a continuación.

3.1 NI-USRP© 2920

El NI-USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) es un radio que junto al *software* NI Labview ofrece un gran número de opciones en el diseño de prototipos para transmisiones y recepciones inalámbricas de RF y comunicaciones.

Por lo tanto este *hardware* es altamente beneficioso para investigadores debido al gran número de prestaciones que ofrece en estos ámbitos, y a la facilidad de diseño que presenta. Es también altamente recomendable para la docencia, pues permite a los estudiantes enfrentarse a pruebas reales en temas de RF y comunicaciones de forma sencilla. Por lo tanto, lo que tradicionalmente era un tópico explicado teóricamente, con el NI USRP se nos permite realizar innumerables pruebas que permitirán conocer mejor las comunicaciones y la RF, y enfrentarse con la realidad en este ámbito.

A continuación se presenta un pequeño listado con las distintas aplicaciones que puede abarcar este *hardware*:

Carácter investigador:

- Monitorización Espectral Accesible. Permite una monitorización del espectro de señales de hasta 40 MHz de ancho de banda.
- Rápido desarrollo de protocolo inalámbrico.
- Generación flexible de protocolos MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Permite la generación de prototipos MIMO 2x2.

Carácter docente:

- Prácticas con señales del mundo real.
- Cursos para exploración de Capa Física.
- Radio accesible y definido de *Software*.

La versión usada del NI-USRP como se ha expresado anteriormente, es la versión 2920:



Figura 3.1: NI USRP 2920 [17]

Las principales características de esta versión del equipo son las siguientes:

- Frecuencia central ajustable desde 50 MHz hasta 2.2 GHz cubriendo radio FM (*Frequency Modulation*), GPS (*Global Positioning System*), GSM, radar y bandas IMS (*IP Multimedia Subsystem*)
- Hasta 20 MHz de banda base I/Q con transmisión de hasta 25 MS/s para procesamiento basado en servidores con NI *Labview*

El Funcionamiento interno se pueden leer en las especificaciones completas [15].

3.2 Agilent© ESG E4438C

El Agilent E4438C ESG es un generador de señales vectoriales que incorpora una gran variedad de posibilidades para realizar pruebas tanto en sistemas analógicos como digitales de diferentes sistemas de comunicaciones.

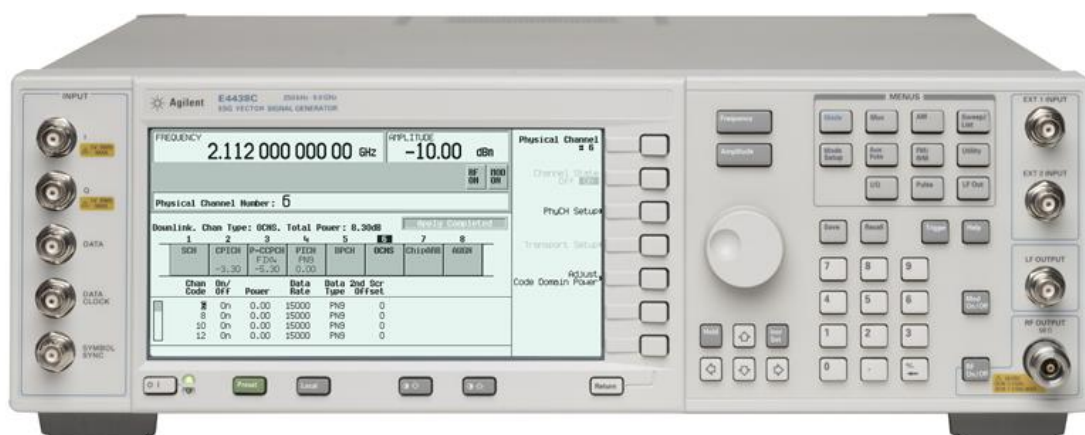


Figura 4.2: Agilent ESG E4438G [18]

Por lo tanto este aparato sirve para hacer distintas pruebas de numerosas tecnologías inalámbricas tanto estandarizadas como no estandarizadas. Ofrece gran variedad de

posibilidades y de configuraciones de las señales enviadas y configuraciones de las condiciones del entorno. Es por ello una genial herramienta de evaluación de sistemas móviles.

Por todo esto, ha resultado útil para el estudio de las señales WCDMA del 3GPP. Con la ayuda del generador, se han realizado numerosas pruebas con el fin de conocer los resultados de las pruebas antes de haberlas realizado. Permite configurar los canales propuestos en el estándar de UMTS como necesite el usuario en cada momento, y así testear los resultados de activar cada uno de los canales físicos del estándar en cuestión.

3.3 VSA 89600

El Agilent VSA 89600 está formado por dos partes. Una primera parte *hardware*, constituida por un chasis que alberga una tarjeta de adquisición, unos osciladores locales, y una tarjeta de conexión *firmware*.

La segunda parte que conforma el VSA 89600 es una aplicación *software* que muestra los resultados de la recepción de distintas tecnologías inalámbricas. En él se pueden mostrar multitud de medidas, constelaciones, espectro, señales en tiempo, etc[19].



Figura 3.3-1: *Hardware* del VSA 89600

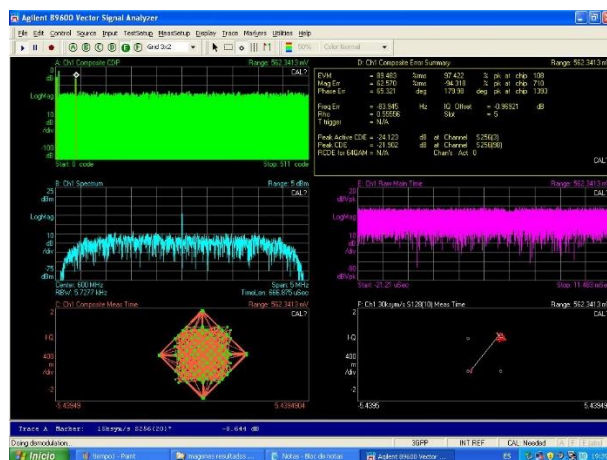


Figura 3.3-2: *Software* del VSA 89600

En el apartado del demodulador de WCDMA 3gpp, nos ha sido muy útil para el análisis de los códigos recibidos, la constelación recibida, el espectro de la señal, y la señal en el dominio del tiempo.

Este analizador vectorial se ha usado de dos formas distintas:

- Una conectado al *Agilent E4438C ESG* para poder estudiar los resultados esperados en cuanto al dominio de códigos, constelación, espectro, etc. de los distintos canales de la capa física de WCDMA.
- Otra conectado a un monopolo con un frecuencia de operación de 600 MHz con la que se recibía la señal enviada desde el NI-USRP.

4. SOFTWARE

Para la implementación de la funcionalidad de la estación base UMTS ha sido necesario apoyarse en las siguientes herramientas de diseño y evaluación del sistema. Con los distintos lenguajes de programación que han sido utilizados, se ha podido realizar todo tipo de pruebas e implementaciones que han hecho posible la integración final de la estación base.

4.1 NI LABVIEW®

Este programa creado por *National Instruments®* es un entorno potente de programación gráfica. Es muy productivo también debido a la alta integración de *hardware* que permite. De forma muy rápida y sencilla se pueden desplegar sistemas de medida y control.



Figura 4.1-1: Icono Labview [6]

Ser un entorno de programación gráfico ayuda a la abstracción de la complejidad de la programación de bajo nivel. Además incluye multitud de librerías integradas específicas con funciones muy útiles tanto para la programación de *software* como para la integración del *hardware*. Todo ello con un grado de visualización e intuición muy elevado.



Figura 4.1-2: Pantalla Labview [20]

Hoy en día, este *software* está presente en innumerables sectores con uso en diferentes aplicaciones. Caben destacar aplicaciones como:

- Diseño y prototipado empotrado: Diseño de dispositivos médicos, algoritmos de ingeniería, diseño de robots autónomos, etc.
- Medidas y control industrial: Monitorización y control de máquinas, visión de máquinas, monitorización de potencias, etc.
- Medidas y test automáticos: Test de electrónica militar, test para RF y comunicaciones, test de audio y videos.
- Investigación y Docencia: Diseño de circuitos, simulaciones, Mediciones e instrumentación, procesamiento de señal e imágenes, comunicaciones y RF (*Radio Frequency*), etc.

El lenguaje de programación usado en *Labview*, también conocido como programación “G” ha sido elegido por las facilidades visuales a la hora de programar. En primer lugar, cuando se inicia un programa el usuario encuentra dos pantallas principales:

- *Front Panel* (Panel Frontal): Este es el lugar donde aparecerán aquellas variables o gráficas que el usuario desea presentar en su programa. Pueden ser tanto variables de control, para configurar distintos parámetros, como indicadores, los cuales representan los resultados de las ejecuciones del programa (variables y gráficas).
- *Block Diagram* (Diagrama de Bloques): Como su propio nombre indica, esta ventana servirá para programar creando distintos diagramas de bloques. A partir de diferentes variables de control y constantes, y por medio de interconexión con nodos de funciones, se pueden ir obteniendo los distintos resultados que se monitorizan en *Front Panel*.

Por lo tanto, de forma sencilla se pueden construir diagramas de flujos, que pueden constituir programas muy complicados de implementar en los lenguajes de programación tradicionales. Estas dos ventanas constituyen una unidad que se denomina “VI”. Es decir, cada programa que guardemos, está formado por dos secciones agrupadas en el “VI”. Además todos los programas son guardados con extensión “.vi”. *Labview* ofrece también la posibilidad de integrar “VI’s” dentro de otros “VI’s” denominándolos “subVI’s”. Esta funcionalidad permite agrupar código cuando se vuelve demasiado denso. De esta forma dentro del “VI” principal se tiene un diagrama de bloques claro y sencillo donde se puede observar perfectamente cuáles son las variables de control e indicadores tanto del “VI” principal como del “subVI”.

Es por todo ello, un entorno de programación que ofrece infinidad de posibilidades, y que además permite integrar un gran número de unidades *hardware*, con un abanico de aplicaciones muy amplio. Todo ello hace de *Labview* un *software* muy usado en el mundo ingenieril.

4.2 MATLAB©

Este lenguaje de alto nivel de programación ha servido de apoyo para la realización de distintas pruebas donde se debían tratar distintas secuencias de símbolos de tramas de los canales físicos implementados de UMTS, donde MATLAB© ofrece también muy buenas prestaciones.

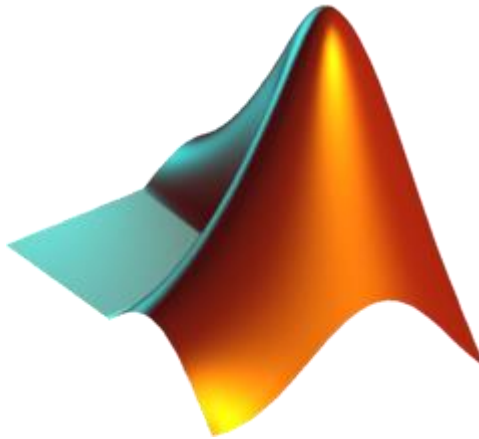


Figura 4.2-1: Icono Matlab [21]

Con MATLAB® es posible analizar datos, desarrollar algoritmos, y crear modelos y aplicaciones. Este lenguaje de programación permite llegar a soluciones mucho más rápido que otros lenguajes tradicionales como C/C++, Java y permite realizar cálculos de forma más eficientes que con hojas de cálculo tradicionales.

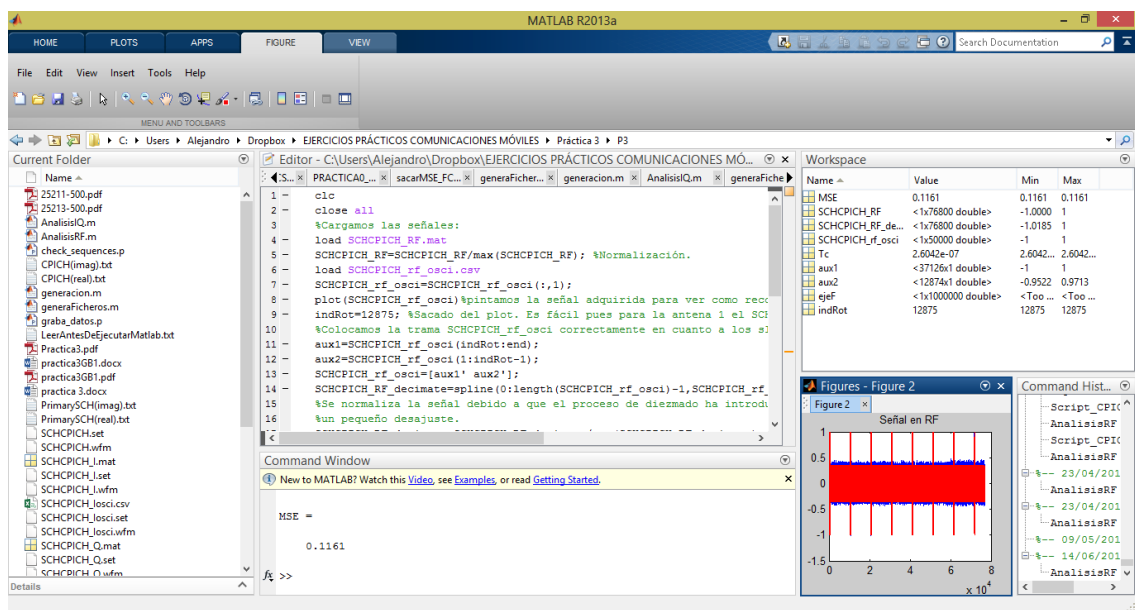


Figura 4.2-2: Programa Matlab

Este programa se usa típicamente en aplicaciones como procesamiento de señales y comunicaciones, procesamiento de imagen, audio y video, sistemas de control, etc.

5. DISEÑO

En esta sección se presenta lo que se debe implementar para obtener la funcionalidad de la estación base, así como los distintos requerimientos que puedan tener los distintos canales implementados. También se especifica la constitución de los dos tipos de códigos usados en el proceso de formación de la señal en WCDMA.

5.1 DISEÑO DE LOS CÓDIGOS

Los códigos que se usan en WCDMA-FDD constituyen el núcleo del sistema y el valor diferenciador con el resto de tecnologías. Como ya se ha comentado, como norma general todos los canales siguen un proceso primero de ensanchado y otro posterior de aleatorización. Sin embargo la señal física SCH se forma de manera distinta al resto de códigos. Tanto el proceso de diseño de esta última como el de la formación del resto de canales se describe a continuación.

5.1.1 CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN

Como ya se ha explicado anteriormente, el cometido de estos códigos es el de ensanchar la señal para protegerla frente al multitrayecto y las interferencias. Además es fundamental para impedir que usuarios no autorizados tengan acceso a la señal. Estos códigos se denominan OVSF, es decir, ortogonales y de longitud variable, o sea, con distintos factores de ensanchado. Los factores de ensanchado se usan para poder ofrecer distintas tasas binarias, ya que tras el paso por el código, todas las secuencias van a la misma velocidad que es de 3,84 Mcps. Un chip es la unidad mínima considerada en WCDMA y se corresponde con cada uno de los elementos que forman cada uno de los códigos. Es decir, aquel código cuyo SF sea de 256 está formado por 256 chips. Tras pasar una trama por los códigos de canalización, esta pasará a tener 38400 símbolos. La trama tiene una duración de 10 ms. Esto es lo que hace que finalmente se tenga una tasa de 3,84Mcps. Por lo tanto dependiendo del factor de ensanchado del código de canalización, se podrán introducir más o menos bits de información, lo que hará que la tasa binaria de cada canal pueda ser variable.

En el estándar se presenta una sugerencia de formación de los códigos de *Spreading*. Sin embargo, por las facilidades que ofrece la programación gráfica a través de *Labview* se decidió realizar una implementación de una forma recursiva que se puede ver en el apartado de desarrollo correspondiente.

5.1.2 CÓDIGOS DE ALEATORIZACIÓN

Para generar los códigos de aleatorización o *Scrambling* se deben seguir las siguientes instrucciones:

Condiciones iniciales de las secuencias x e y:

- $x(0)=1, x(1)=x(2)=\dots=x(16)=x(17)=0.$

- $y(0)=y(1)=\dots=y(16)=y(17)=1.$

Definición recursiva para la formación de las secuencias x e y completas:

- $x(i+18)=[x(i+7)+x(i)] \text{ modulo } 2, i=0,\dots,2^{18}-20.$

- $y(i+18)=[y(i+10)+y(i+7)+y(i+5)+y(i)] \text{ modulo } 2, i=0,\dots,2^{18}-20.$

Los n primeros códigos Gold z_n , $n=0,1,2,\dots,2^{18}-2$, se definen como:

$$- z_n(i) = [x((i+n) \bmod (2^{18} - 1)) + y(i)] \bmod 2, i=0,\dots, 2^{18}-2.$$

Estas secuencias binarias Z_n son convertidas a los valores -1 y 1 mediante la siguiente transformación:

$$z_n(i) = \begin{cases} +1 & \text{si } z_n(i)=0 \\ -1 & \text{si } z_n(i)=1 \end{cases} \quad \text{Para } i=0,1,\dots, 2^{18}-2$$

Finalmente, para tener cada uno de los códigos de *Scrambling* posibles, se debe seguir lo indicado en esta definición:

$$- S_{dl,n}(i) = Z_n(i) + j Z_n((i+131072) \bmod (2^{18}-1)), i=0,1,\dots,38399.$$

Para cada uno de los n se generan los distintos códigos de *Scrambling* de longitud 38400.

5.2 DISEÑO DE LOS CANALES

En este apartado se muestran los criterios de diseño y las especificaciones del estándar que permiten la formación de aquellos canales elegidos para implementar la funcionalidad de la estación base.

5.2.1 SCH (*Synchronisation Channel*)

El canal de sincronización, como ya se había mencionado anteriormente, es un canal físico que no depende de ningún canal de transporte. Se le puede considerar directamente como una señal física usada en el *downlink* para permitir la sincronización de los equipos a una celda. Además no usa el proceso de ensanchado y aleatorización del resto de canales, pues es necesario que los terminales puedan sincronizarse a la estación base de turno, antes de haber descifrado los códigos de aleatorización. Este canal, a su vez contiene dos canales:

- *Primary SCH* (P-SCH): Contiene en cada slot de 2560 chips, 256 chips con idéntico código para todos los slots. El resto del slot se rellena con ceros. Este canal se usa para que los terminales puedan sincronizarse con la estación base. La detección se produce con la ayuda de un filtro adaptado. Las secuencias del PSCH deben estar optimizadas para garantizar un consumo mínimo de potencia en el terminal. El P-SCH consigue que un terminal se sincronice a un slot.
- *Secondary SCH* (S-SCH). Cada slot tiene 256 chips de contenido, pero ahora no se repite el contenido en todos los slots. Con este canal de sincronización el UE es capaz de sincronizarse ya al comienzo de la trama, y de averiguar qué grupo de los 64 grupos de *Scrambling* que se habían mencionado en el apartado anterior es usado en la comunicación. Finalmente con la ayuda del CPICH y del P-CCPCH (*Primary Common Control Channel*) se averigua exactamente el conjunto de los 8 posibles y el código exacto de aleatorización.

La estructura del SCH la recoge la siguiente figura:

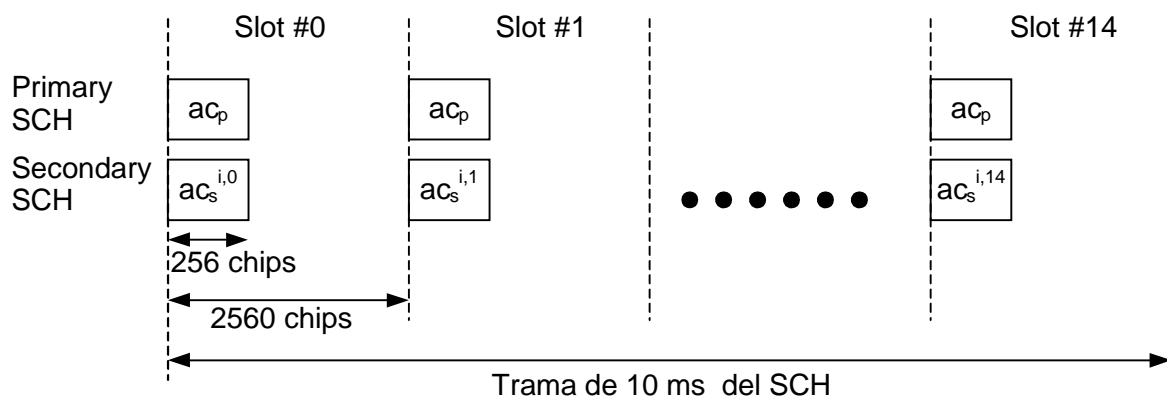


Figura 5.2.1: Estructura del Canal de Sincronización

La variable i que se puede observar en cada slot dentro del código secundario, puede variar entre 0 y 63 y se corresponde con el grupo del código de *Scrambling*. El SCH lleva esta información en su subcanal secundario para aportar información acerca del grupo del código de *Scrambling* de la celda donde es transmitido. Además el SCH posibilita la sincronización tanto a slot como a trama del usuario con la celda.

El valor de la variable a que aparece en cada slot depende de si existe diversidad o no:

P-CCPCH con diversidad	$a=+1$
P-CCPCH sin diversidad	$a=-1$

Tabla 5.2.1: Diferencia Diversidad SCH

5.2.2 P-CPICH (*Primary Common Pilot Channel*)

Este canal físico de bajada porta una secuencia predefinida de símbolos. Su tasa es de 30kbps con un SF=256. El código de canalización también es prefijado y es el 0.

En caso de diversidad, cada antena transmite los siguientes símbolos:

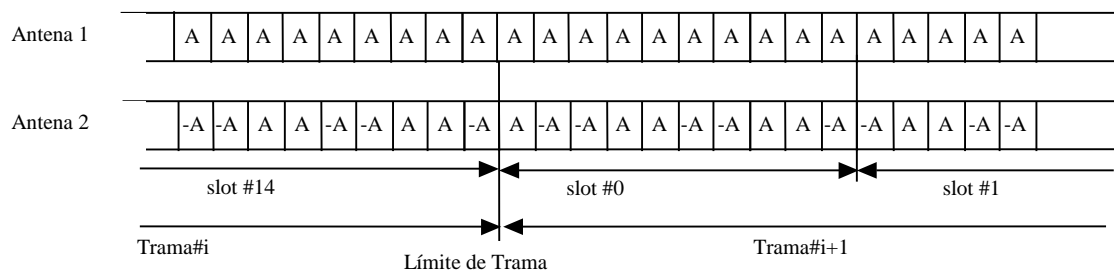


Figura 5.2.2: Patrón de Modulación para el CPICH (con $A=1+j$)

Si no hay diversidad, como es el caso del modelo a implementar, el contenido del P-CPICH es el de la antena 1, siendo $A=1+j$.

En toda la celda sólo hay un único CPICH y este es transmitido por toda la celda.

El CPICH sirve de referencia de fase para muchos otros canales como el SCH, el P-CCPCH, AICH, PICH, AP-AICH (*Access Preamble- AICH*), CD/CA-ICH (*Collision Detection/ Channel Assignment Indicator Channel*), CSICH (*CPCH Status Indicator Channel*), DL-DPCCH, etc. También lo es para el canal de bajada dedicado DPCH.

5.2.3 P-CCPCH (*Primary Common Control Physical Channel*)

Este canal se usa para transportar la información del canal de transporte BCH (*Broadcast Channel*). Tiene una tasa fija de 30 kbps y un SF=256.

En el siguiente diagrama se muestra el contenido del canal P-CCPCH.

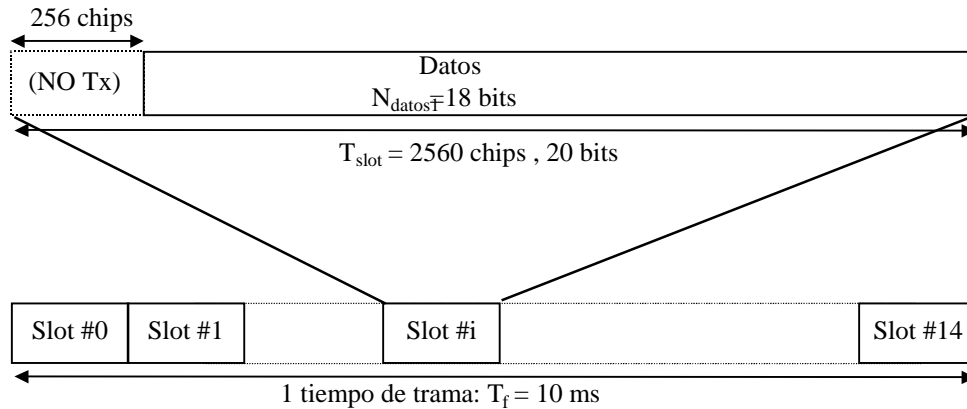


Figura 5.2.3: Estructura de Trama para el P-CCPCH

Cabe destacar que este canal tiene los 256 primeros chips de cada slots vacíos, es decir, no se transmite nada. Esto se debe a que el P-CCPCH se transmite multiplexado con el SCH, el cual solo transmite los 256 primeros chips de cada slot. En conclusión, el P-CCPCH transmite su información cuando no lo hace el SCH y viceversa.

5.2.4 PICH (*Paging Indicator Channel*)

Este canal cuyo factor de ensanchamiento es de 256 sirve para transportar los indicadores de *paging*. Este canal tiene relación con el S-CCPCH, el cual se encarga de llevar la información del canal de transporte PCH (*Paging Channel*)

El canal es directamente una trama de 10 ms que contiene 300 bits. De esos 300 bits, los primeros 288 se usan para los indicadores de *paging*. El resto, no forman parte del PICH y no se transmite nada por ellos. Estos bits quedan reservados para posibles evoluciones.

El UE es informado de la potencia relativa del PICH, mediante los Paging Indicators, comparándolo con la potencia transmitida por el P-CPICH.

La trama queda ilustrada de la siguiente manera:

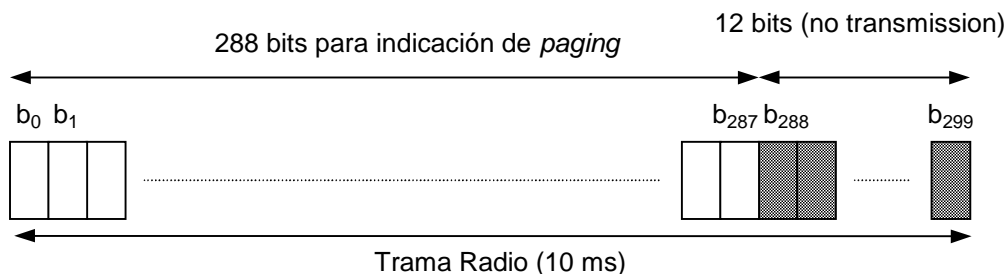


Figura 5.2.4: Estructura del PICH

En cada trama del PICH, se transmiten N_p indicadores de *paging*. Los posibles valores para N_p son 18, 36, 72 y 144.

Los indicadores de *paging* (PI) son calculados por capas superiores y son asociados al PI (*paging indicator*) que se usa en el canal P_q , donde q se calcula como función de PI, del SFN (*System Frame Number*) y del valor de N_p . La expresión del cálculo de la q es la siguiente:

$$q = \left(PI + \left[((18 \times (SFN + \lfloor SFN/8 \rfloor + \lfloor SFN/64 \rfloor + \lfloor SFN/512 \rfloor)) \bmod 144) \times \frac{N_p}{144} \right] \right) \bmod N_p$$

Finalmente el mapeo entre los distintos indicadores de *paging* y los bits de la trama del PICH se realiza de la siguiente manera:

Número de indicadores de <i>paging</i> por trama (N_p)	$P_q=1$	$P_q=0$
N_p	$\{b_{16q}, \dots, b_{16q+15}\} = \{-1, -1, \dots, -1\}$	$\{b_{16q}, \dots, b_{16q+15}\} = \{+1, +1, \dots, +1\}$
N_p	$\{b_{8q}, \dots, b_{8q+7}\} = \{-1, -1, \dots, -1\}$	$\{b_{8q}, \dots, b_{8q+7}\} = \{+1, +1, \dots, +1\}$
N_p	$\{b_{4q}, \dots, b_{4q+3}\} = \{-1, -1, \dots, -1\}$	$\{b_{4q}, \dots, b_{4q+3}\} = \{+1, +1, \dots, +1\}$
N_p	$\{b_{2q}, b_{2q+1}\} = \{-1, -1\}$	$\{b_{2q}, b_{2q+1}\} = \{+1, +1\}$

Tabla 5.2.4: Correspondencia de los Paging Indicators P_q al los bits del PICH

5.2.5 DPCH (*Dedicated Physical Channel*)

Este canal físico dedicado contiene la información procedente del canal de transporte dedicado DCH. En el caso del *downlink*, transmite multiplexado en el mismo canal los datos de usuario y de control. Se puede decir que transmite multiplexados el DPDCH (*Dedicated Physical Data Channel*) y el DPCCH (*Dedicated Physical Control Channel*).

Cada trama de duración 10 ms contiene 15 slots de 2560 chips cada uno. Todo esto lo podemos observar en el siguiente diagrama:

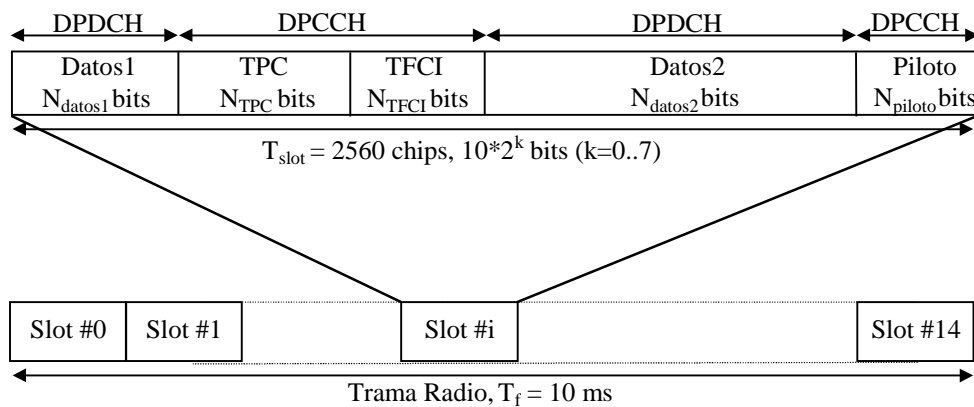


Figura 5.2.5: Estructura de la trama del DPCH para el downlink

El parámetro k de este diagrama indica el número de bits por slot, y está directamente relacionado con el factor de ensanchamiento, que es $SF = 512/2^k$. El factor de *Spreading* en el enlace de bajada o *downlink* tiene un rango de 512 a 4.

Principalmente, existen dos tipos de canales dedicados, los que incluyen contenido en el campo TFCI, que se usan cuando tenemos varios servicios simultáneos; y los que no incluyen contenido en el TFCI, que se usan cuando tenemos servicios de tasa constante.

En cualquier caso, existen multitud de combinaciones posibles contando con los distintos posibles valores de *Spreading* que pueden darse. Por ello se establecen distintos grupos de DPCH. Esto se puede ver en el Anexo 2.

6. DESARROLLO

En esta sección se describe todo el desarrollo de la formación de los canales, así como la forma en la que se ha implementado cada una de las partes necesarias para obtener la señal que se envía al USRP.

6.1. TRANSMISOR. VI PRINCIPAL

En esta sección se presenta el programa que implementa en primer plano la funcionalidad de la estación base. En él se pueden realizar las siguientes acciones:

- Establecer la IP del NI USRP a usar.
- Establecer una tasa de transmisión. Por defecto se ha establecido la tasa marcada por el estándar de 3.84 Mbps. Además se presenta un indicador que muestra la tasa real a la que envía el dispositivo.
- Seleccionar la frecuencia de portadora sobre la que montar la señal a enviar en RF. Incluye también el indicador que representa el valor real que usa el dispositivo.
- Elección de la antena activa. Dependerá de cuál de los dos puertos de antena esté utilizando el NI USRP.
- Establecer la ganancia en transmisión. El NI USRP satura a +31dB. También junto a esta variable de control se encuentra el indicador que muestra la ganancia real con la que trabajará el programa durante la ejecución del mismo.
- Elegir un *timeout* para la transmisión.
- Seleccionar el código de *Scrambling*.
- Habilitar o deshabilitar cada uno de los canales implementados (SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH).
- Configurar los parámetros más relevantes de cada uno de los canales y observar la trama resultante de cada uno de ellos.
 - SCH: Se puede observar el contenido de la trama cuando está activo.
 - CPICH: Al igual que en el caso anterior, muestra el contenido de la trama cuando está activo.
 - P-CCPCH: Además de mostrar el contenido de la trama resultante al activarlo. Permite configurar su código de *Spreading*, si se desea rellenar con un patrón de datos aleatorios o mediante un patrón introducido manualmente, y en este último caso permite introducir el patrón. El SF=256 es fijo por motivos constitutivos del canal. Por ello no se muestra como opción configurable.
 - PICH: Además de poder visualizar la trama final a transmitir cuando se encuentra activo, permite seleccionar su código de *Spreading* correspondiente, e introducir los parámetros (*IMSI International Mobile Subscriber Identity*), N_p y P_q . El SF=256 del PICH es fijo según indica el estándar. El SFN es una variable global que almacena el número de iteración, para llevar la cuenta el número de la trama que se ha enviado en cada momento y por eso no se muestra en la ventana principal.
 - DPCH: Al igual que sus predecesores, permite observar el contenido de la trama final cuando está activo. En este caso también se puede seleccionar el código de *Spreading* para el canal, así como el formato de Slot a usar y el tipo de datos a transmitir. Estos pueden ser datos aleatorios o introducidos manualmente por el usuario.

En la siguiente imagen se muestra la ventana principal del panel frontal de este “VI” principal:

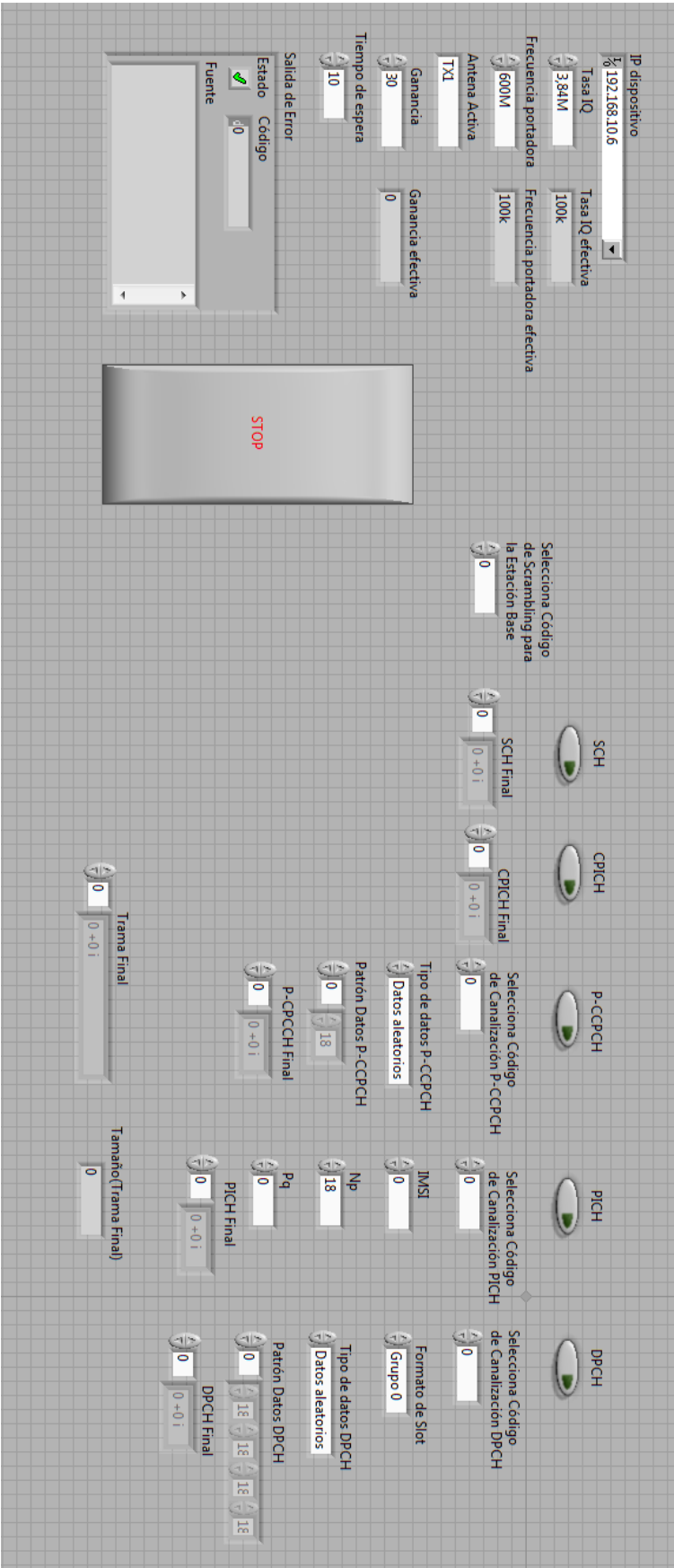


Figura 6.1: Panel Frontal del Transmisor

6.2 FORMACIÓN DE CÓDIGOS

En esta sección se presenta la implementación de los códigos de *Spreading* y de *Scrambling* en el lenguaje de *Labview*. Para facilitar su comprensión, durante la explicación se han añadido una serie de imágenes donde se puede observar el proceso seguido en la formación de los códigos desde *Labview*.

6.2.1 CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN

Para poder entender bien el funcionamiento del programa esta sección se divide en dos partes perfectamente diferenciadas. En la primera se describirá el uso de la pantalla principal, y en la segunda se expondrán las bases del desarrollo de los códigos de aleatorización mediante *Labview*.

6.2.1.1 Uso de la ventana principal

El sub VI “ChannelisationCode.VI” se puede seleccionar tanto el *Spreading Factor* deseado, como el código a elegir dentro del *Spreading Factor* seleccionado. Es decir, si se selecciona un factor de SF=256, podremos seleccionar los códigos desde el 0 al 255. Por lo tanto, el número de códigos es igual al SF en cuestión.

En la ventana principal del generador de Códigos de Canalización, podemos seleccionar el SF y el código deseado. Además se nos mostrarán todos los códigos de la familia del SF elegido y el código que se ha establecido.

Esto lo muestra la siguiente imagen:

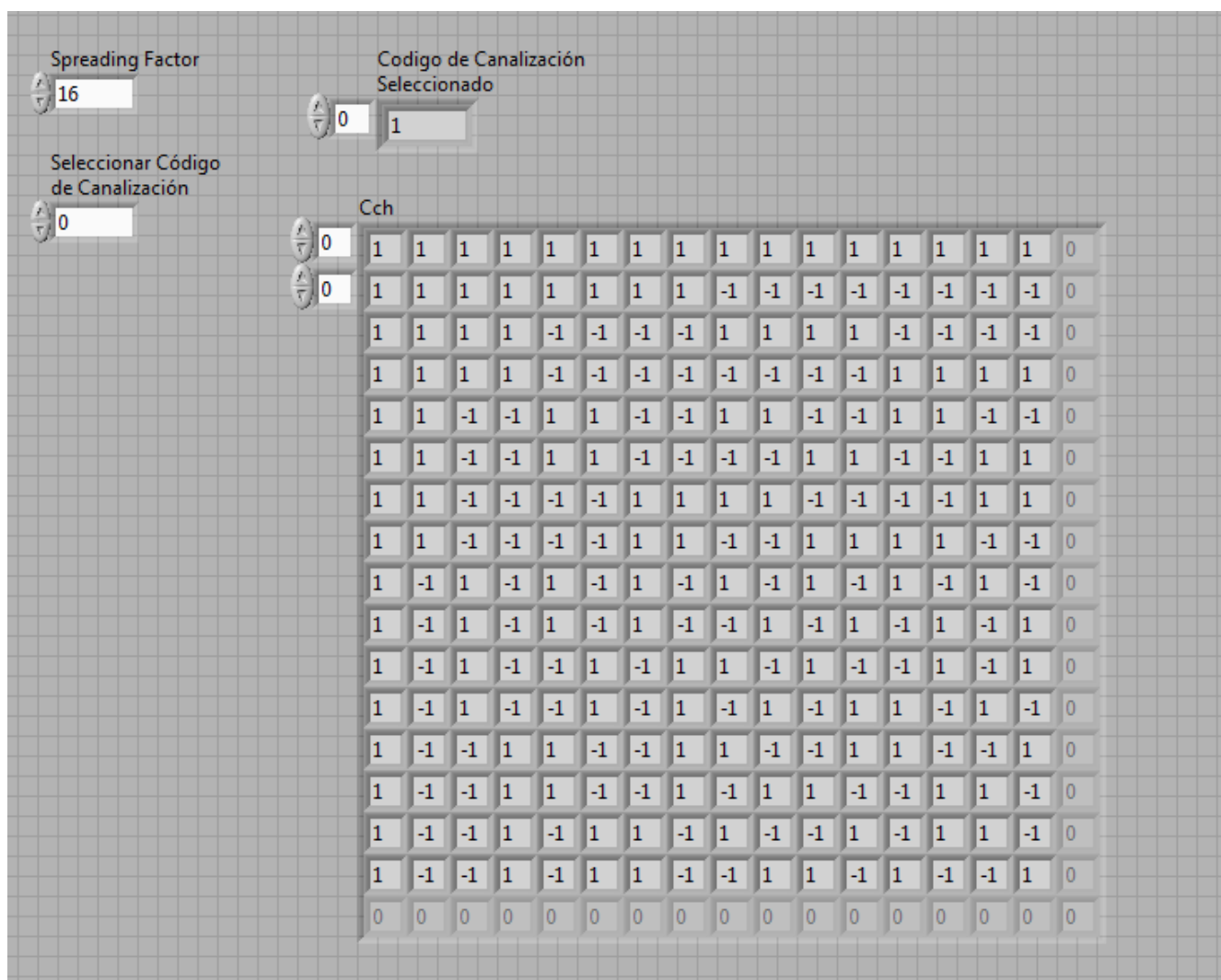


Figura 6.2.1.1: Ejemplo Matriz de Códigos de Canalización

6.2.1.2 Formación de los códigos de Canalización

En primer lugar el SF es la variable de entrada al case (*Spreading Factor*) que nos permitirá formar una matriz que contenga todos los códigos de su correspondiente SF.

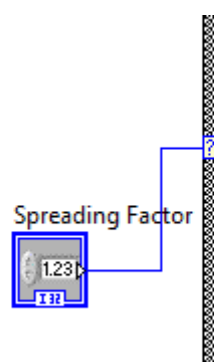


Figura 6.2.1.2-1: Variable de Control del Spreading Factor

Ahora hay que entender lo que hay en el interior de cada uno de los case. Para realizar esta tarea, lo más sencillo es explicar uno de los casos, por ejemplo el de SF=16.

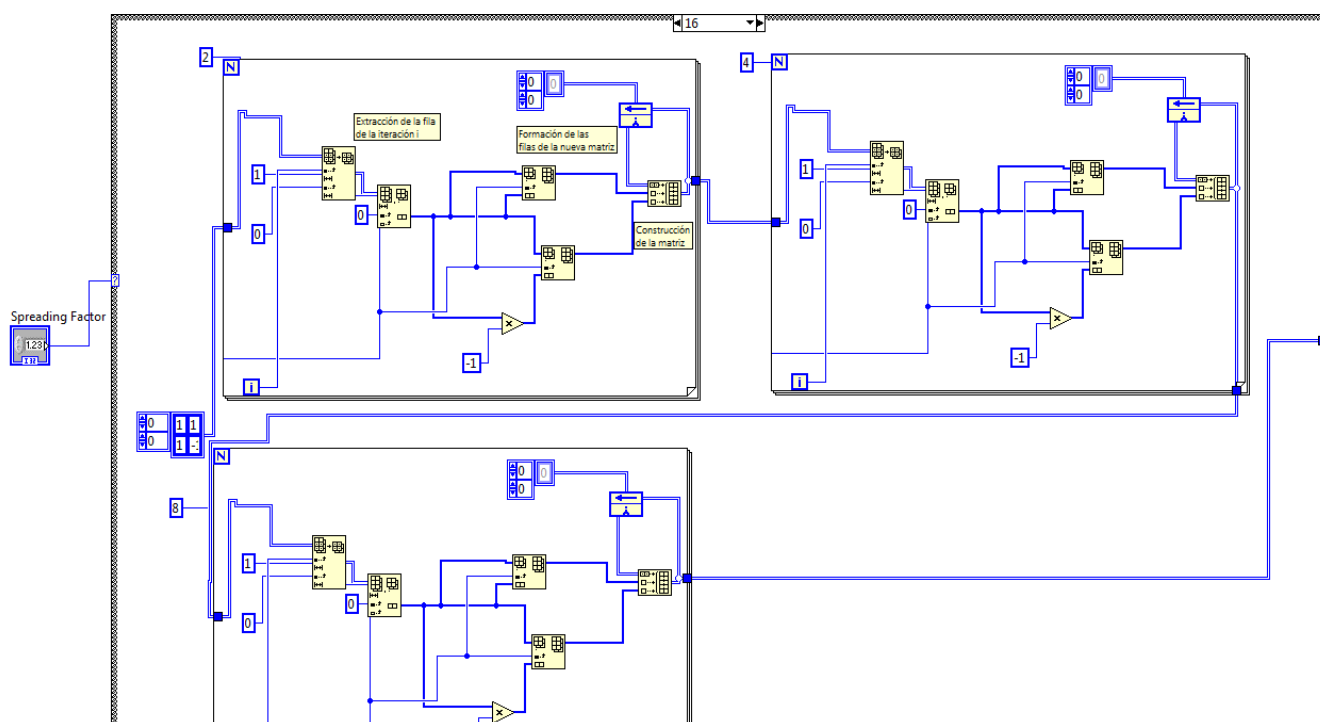


Figura 6.2.1.2: Iteraciones para la Formación de los Códigos de Canalización

Como se puede observar, hay un bloque dentro de la estructura del `case` que claramente se repite. La sucesión de este bloque construye de forma iterativa la matriz con todos los códigos de canalización.

Partimos de la base de la matriz de $SF=2$. Esta entra en la primera estructura que se ha mencionado y se extrae la primera fila:

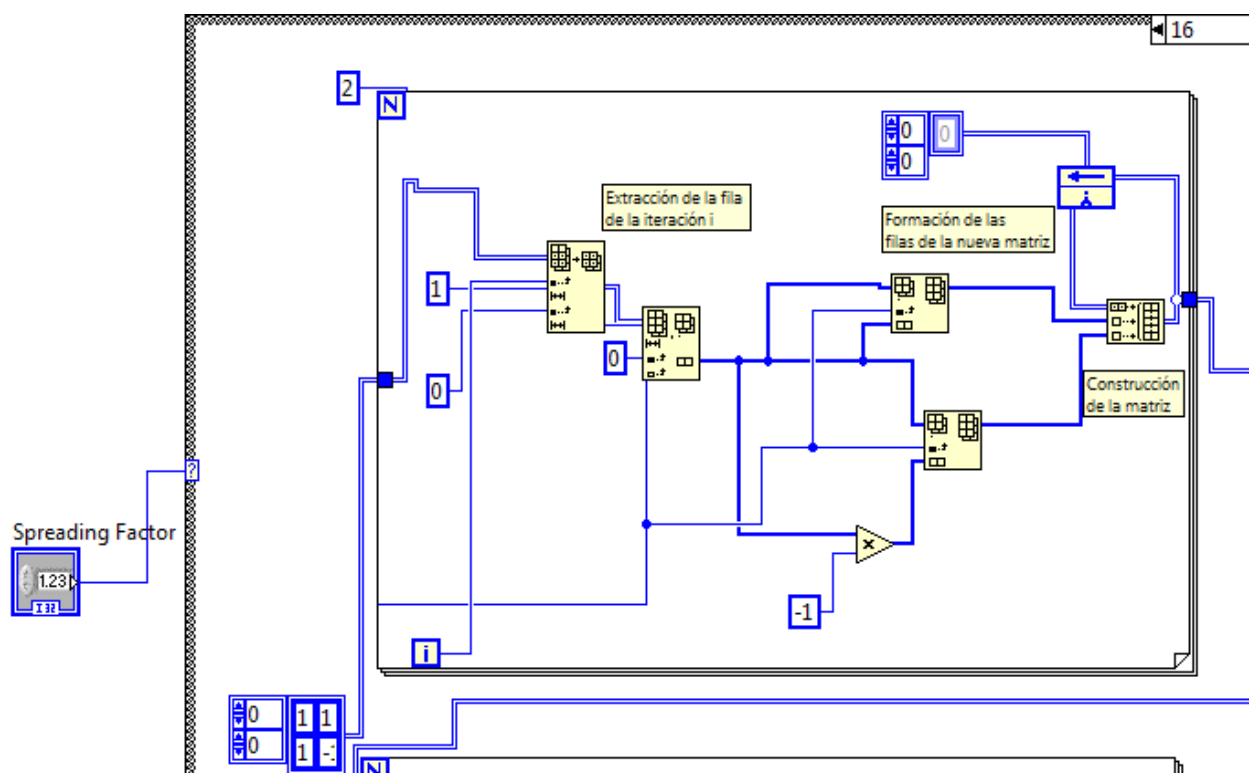


Figura 6.2.1.2-3: Primera iteración en la formación de los Códigos de Canalización

Esta fila de tamaño 1x2 sigue dos caminos paralelos, el primero donde será repetida a continuación de ella misma, formando una matriz 1x4 que tendrá el contenido de la original dos veces; y el segundo camino creará algo parecido pero ahora lo que se coloca a continuación de la matriz 1x2 original, es esa misma matriz pero negada. Por último ambas filas se colocarán en orden en una nueva matriz de dimensiones 2x4.

El procedimiento se repite por segunda vez en el bucle con la segunda fila de la matriz original, introduciéndose las dos filas generadas en los caminos paralelos en las filas posteriores a las generadas en la iteración anterior, formando una matriz 4x4.

Esto se puede ver claramente en el siguiente gráfico explicativo:

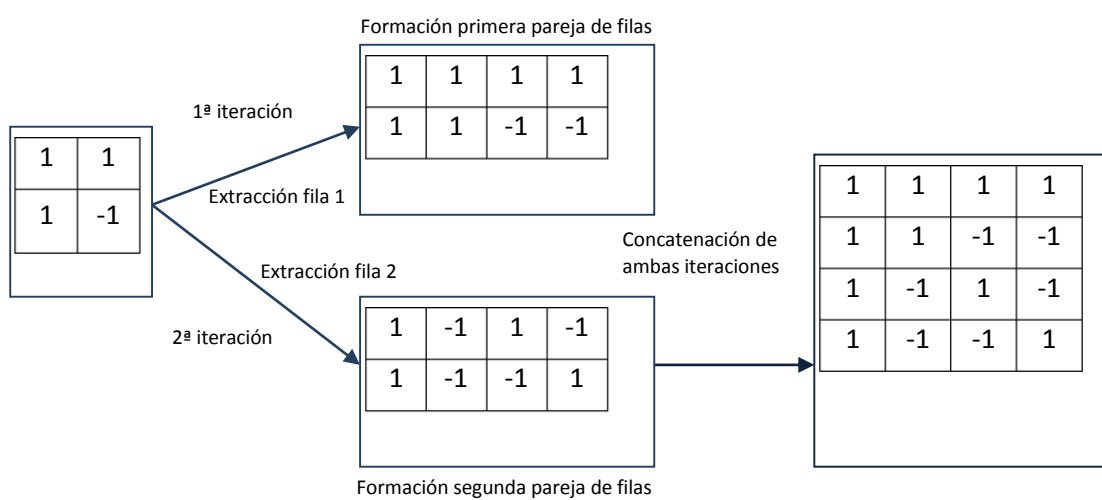


Figura 6.2.1.2-4: Esquema Procedimiento para Formación de Códigos de Canalización

Como el proceso se ha realizado dos veces para obtener la nueva matriz 4x4, la variable N del bucle tiene valor 2.

En este punto tenemos generada una matriz 4x4 que es la correspondiente a todos los códigos con un SF=4. Para llegar al SF 16 hay que repetir el proceso descrito anteriormente pasando por dos estructuras sucesivamente. En el paso por el siguiente bloque, se realizarán 4 iteraciones con las 4 filas de la matriz de entrada, y se obtendrá una matriz 8x8 correspondiente a la agregación de todos los códigos de SF=8. Por lo tanto, en el paso por el último bloque que se ve en la imagen, se habrá construido la matriz definitiva 16x16 correspondiente al conjunto de todos los bloques de SF=16.

Esta matriz es la siguiente:

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1

Figura 6.2.1.2-5: Matriz Códigos de Canalización SF=16

Una vez que tenemos esta matriz, el usuario debe haber elegido el código que desee. Esto como se ha visto al principio de la sección se realiza a través de la variable de control *Seleccionar Código de Canalización*. Lo que se hace con esta variable de control, es seleccionar una fila de la matriz 16x16 que se ha construido como resultado de haber indicado un SF=16.

Esto se realiza en el punto indicado por la siguiente imagen:

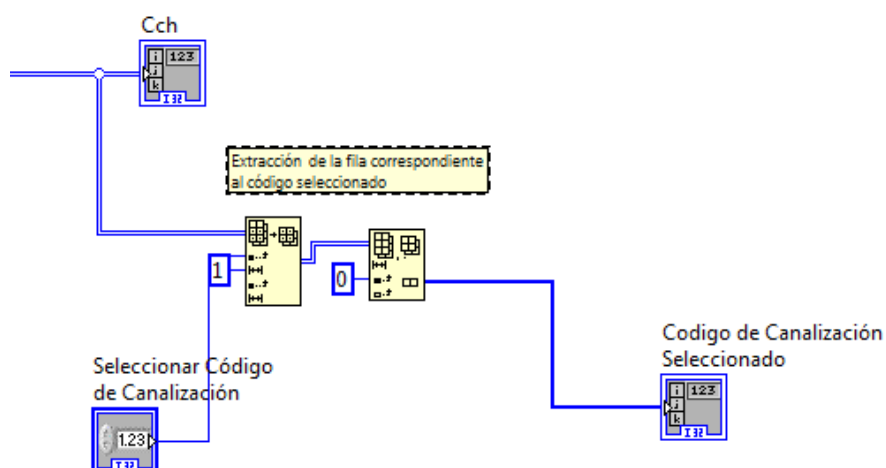


Figura 6.2.1.2-6: Código para seleccionar un Código de Canalización concreto

Finalmente se devuelve un indicador con el contenido del código seleccionado de SF que se haya especificado.

Este procedimiento se repite para el resto de SF hasta SF=512. Las diferencias en los sucesivos es que habrá más bloques encadenados para que las matrices generadas vayan siendo de dimensiones iguales al SF que se haya seleccionado. A modo ejemplo se presenta la siguiente imagen correspondiente al caso de SF=32:

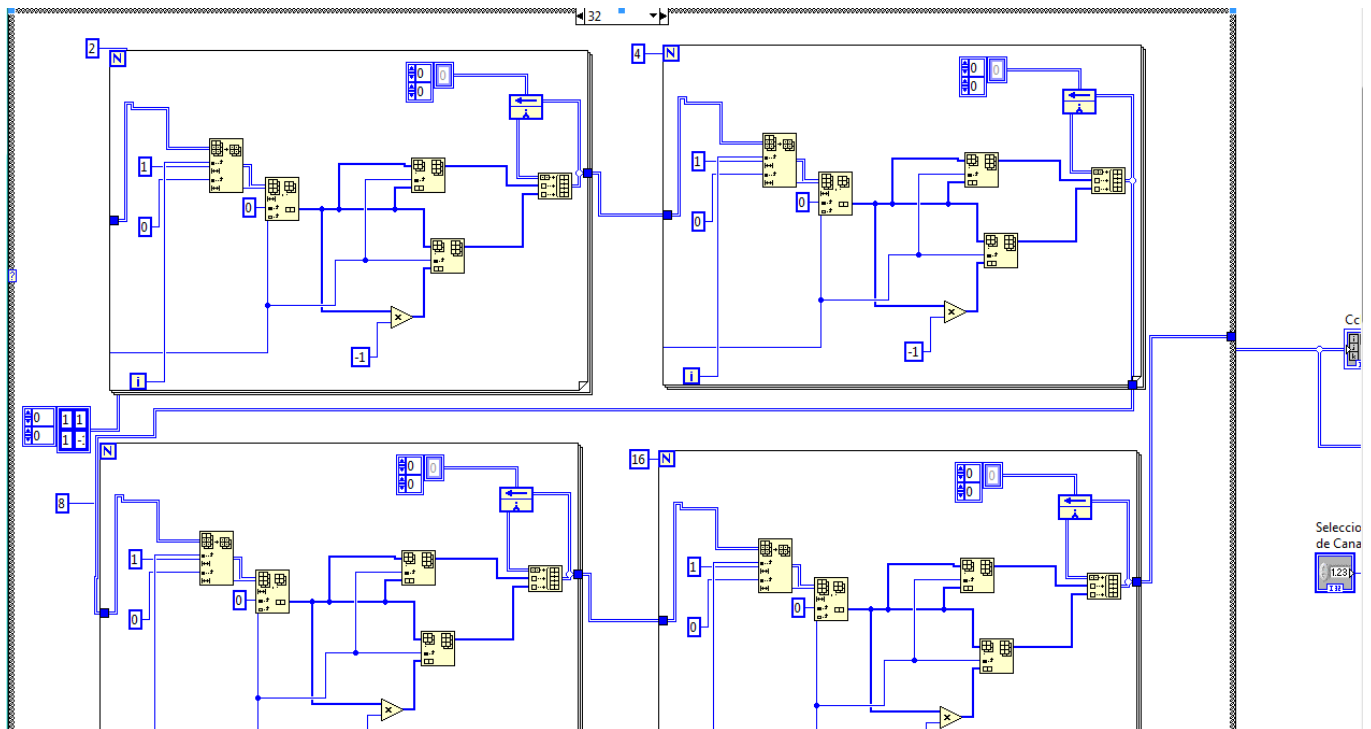


Figura 6.2.1.2-7: Iteraciones para Construcción de Matriz de SF=32

6.2.2 CÓDIGOS DE ALEATORIZACIÓN

Como ya se conoce, los códigos de *Scrambling* son unas secuencias de tamaño fijo (38400 chips) que sirven como aleatorización de la señal que ya entra ensanchada. Por lo tanto en el sub VI correspondiente *ScramblingCode.VI* el usuario sólo debe introducir el código de *Scrambling* que desea generar.

6.2.2.1 Uso de la pantalla principal

En la pantalla principal del VI además de permitir introducir el número del código que desee, se mostrará una matriz que contiene los 1024 primeros códigos de *Scrambling*, y el código de *Scrambling* que se haya seleccionado finalmente. Todo esto se puede ver en la siguiente imagen:

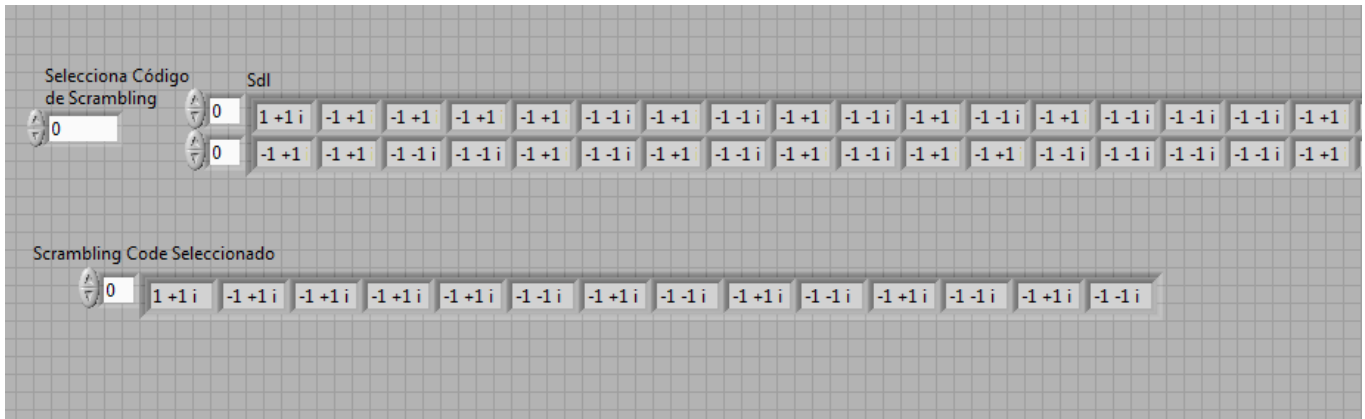


Figura 6.2.2.1: Matriz con Códigos de Scrambling y Código de Scrambling Seleccionado

6.2.2.2 Formación de los códigos de aleatorización

El procedimiento seguido para la formación de códigos viene directamente recogido en el siguiente extracto del documento [22] del estándar del 3GPP, como se explica en el apartado de diseño.

Cabe destacar que como medida de ahorro en tiempo de ejecución, y debido a que no supone ningún impedimento para el posterior funcionamiento del sistema, sólo se permite generar los 1024 primeros códigos de *Scrambling*. Aunque una pequeña modificación de la variable N permitiría generar cuantos quisiéramos. Es por esto por lo que el número de iteraciones toma el valor 170496, que procede de la suma de $1024 + 38400 + 131072$. El razonamiento de porqué se usa este número de iteraciones se realizará más adelante.

En primer lugar se procede a la construcción de la secuencia x . Para ello se ha implementado un bucle que realice la definición recursiva marcada en el estándar:

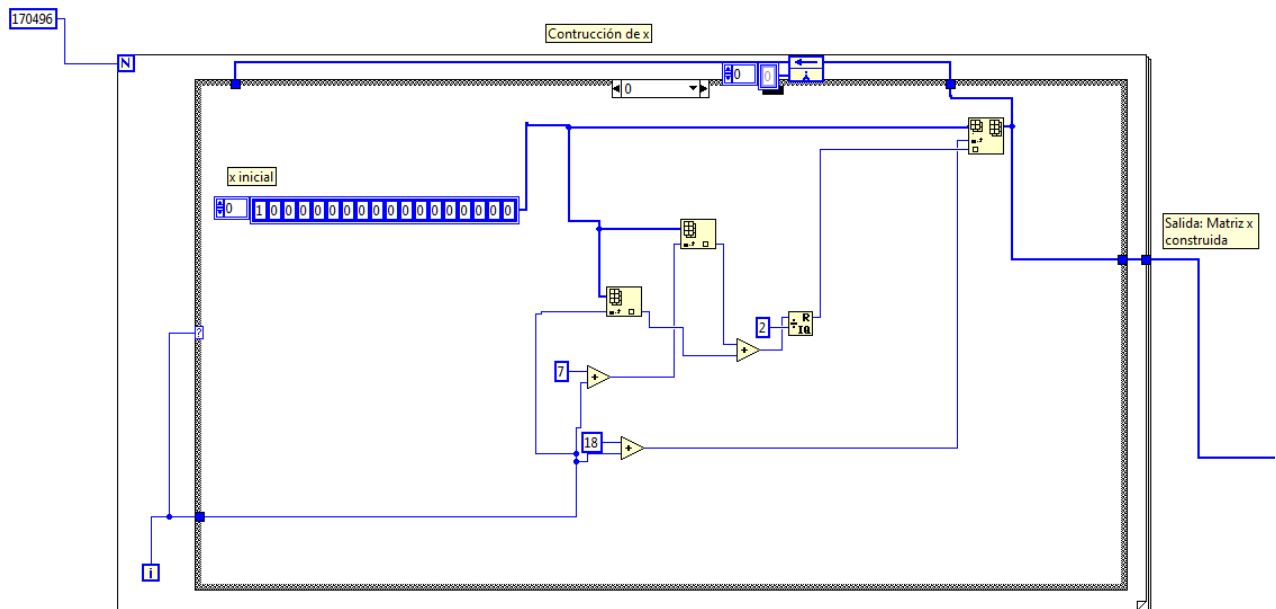


Figura 6.2.2.2-1: Paso 1 en la construcción de Códigos de Scrambling

En segundo lugar, se repite lo mismo con las especificaciones correspondientes para construir la secuencia y :

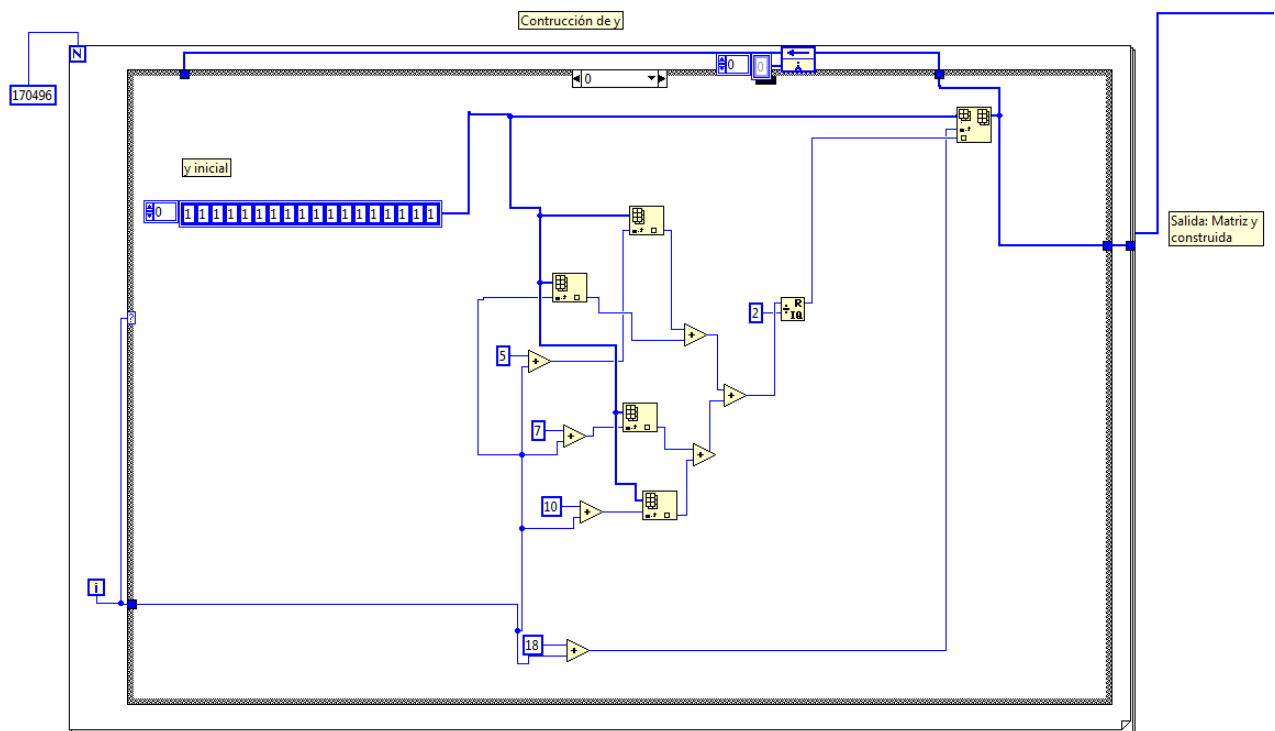


Figura 6.2.2.2-2: Paso 2 en la construcción de Códigos de Scrambling

Una vez que se han generado ambas secuencias x e y , se procede a la construcción de la secuencia z_n siguiendo también la definición recursiva establecida en el estándar:

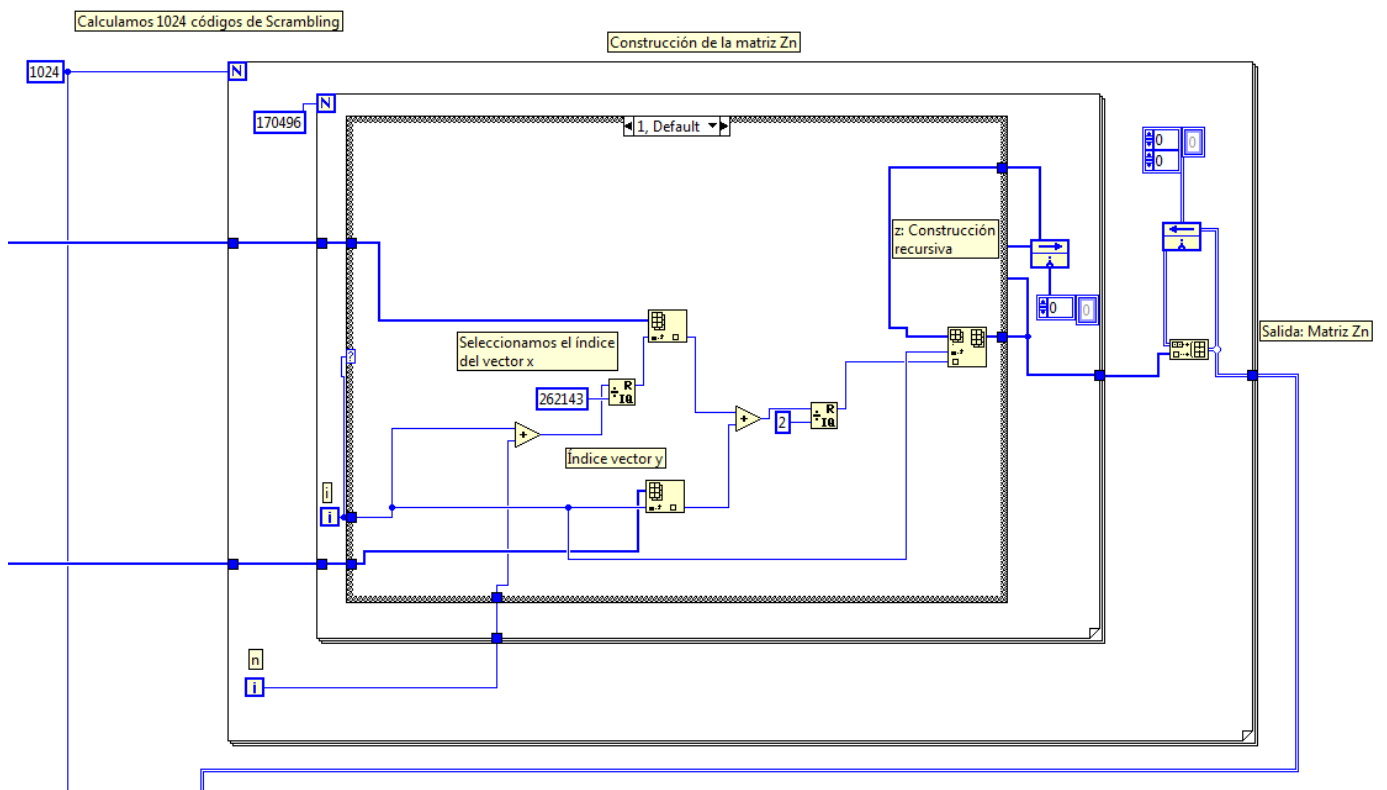


Figura 6.2.2.2-3: Paso 3 en la construcción de Códigos de Scrambling

Cabe destacar aquí que para la construcción de la secuencia z_n ha habido que usar un `case` auxiliar. En la primera iteración se estableció un $z_n=0$. En el resto de iteraciones el z_n al que se le añadía un nuevo elemento para construir la secuencia era el que había dejado la iteración anterior.

Posteriormente, hay que realizar el cambio de polaridad en símbolos a tratar de la siguiente forma:

$$z_n(i) = \begin{cases} +1 & \text{si } z_n(i)=0 \\ -1 & \text{si } z_n(i)=1 \end{cases} \quad \text{Para } i=0,1,\dots, 2^{18}-2$$

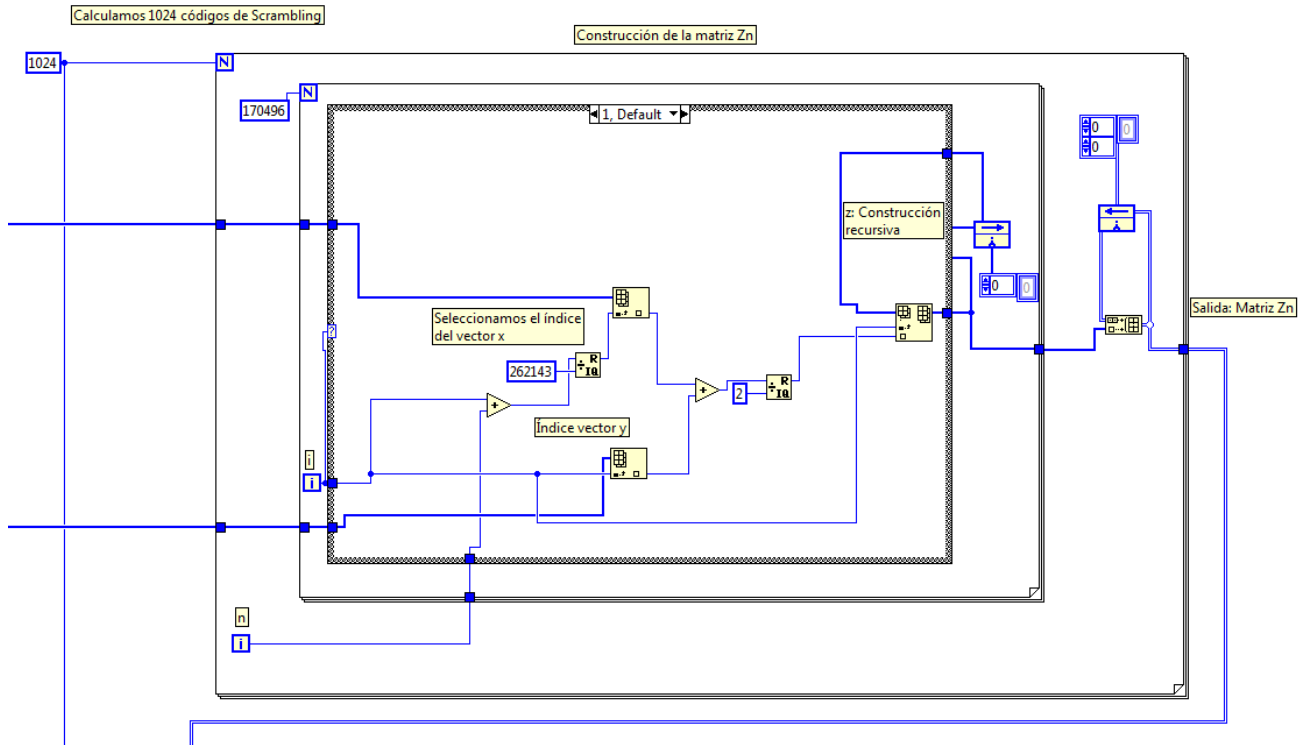


Figura 6.2.2.2-4: Paso 4 en la construcción de Códigos de Scrambling

El funcionamiento de este bloque es muy sencillo, dependiendo del elemento que toque procedente de la secuencia actual, si es un 1 se realiza una de las opciones del `case` que se encuentra dentro del bloque, y si es un 0 la otra opción. Estas dos opciones sustituyen los números de acuerdo a la expresión establecida anteriormente.

Finalmente se construye la secuencia compleja de acuerdo a la expresión del estándar para la formación de la secuencia $S_{dl,n}$.

Por último, con la variable *Selecciona Código de Scrambling* se extrae la fila de la matriz que corresponde al Código de *Scrambling* solicitado.

6.3 GENERACIÓN DE CANALES

6.3.1 SCH (*Synchronisation Channel*)

La generación de la trama completa del SCH se ha realizado siguiendo directamente las instrucciones del documento [22]. Cabe destacar, como ya se citó en el apartado anterior de Diseño, que se ha considerado que no hay diversidad de antenas.

En primer lugar se define la secuencia a :

$$a = \langle x_1, x_2, x_3, \dots, x_{16} \rangle = \langle 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, 1 \rangle$$

Acto seguido, se debe multiplicar la secuencia elemento a elemento por $(1+j)$ y crear una secuencia de longitud 256 en total introduciendo bloques de a como se indica en la siguiente expresión:

$$C_{psc} = (1 + j) \times \langle a, a, a, -a, -a, a, -a, -a, a, a, a, -a, a, -a, a, a \rangle;$$

De esta forma se tiene implementada la secuencia de 256 chips correspondiente al canal primario del SCH (P-SCH) y que se introducirá en cada uno de los 15 slots que componen la trama como se indicó en el diseño.

Ahora se procede a la formación del canal secundario del SCH. Para ello hay que construir una secuencia de 256 chips diferente para cada uno de los 15 slots que conforman la trama.

En primer lugar hay que construir la z :

$$z = \langle b, b, b, -b, b, b, -b, -b, b, -b, b, -b, -b, -b, -b, -b \rangle, \text{ donde}$$

$b = \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, -x_9, -x_{10}, -x_{11}, -x_{12}, -x_{13}, -x_{14}, -x_{15}, -x_{16} \rangle$ y $x_1, x_2, \dots, x_{15}, x_{16}$, son los mismos que en la secuencia a definida anteriormente.

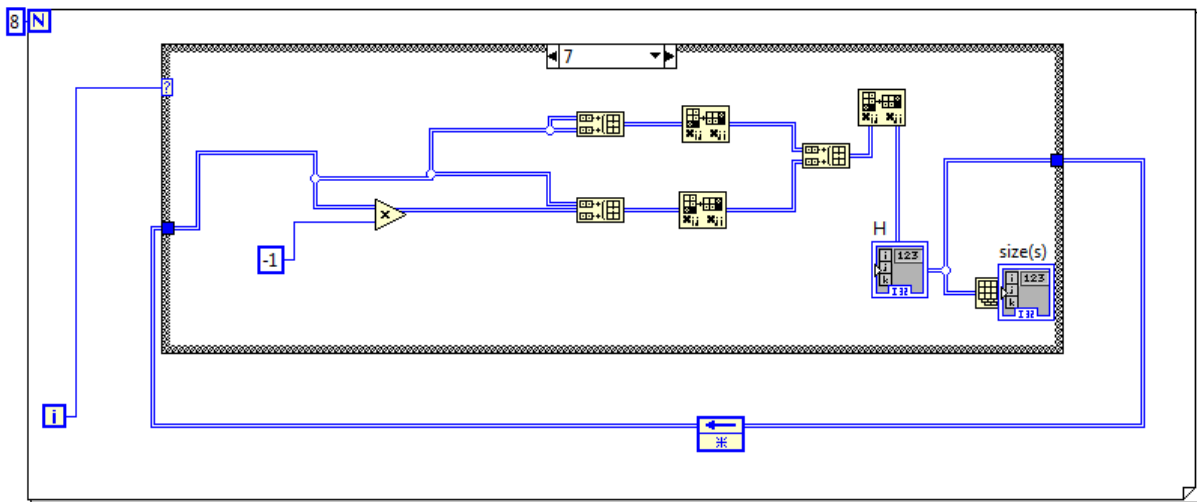
Posteriormente hay que construir la matriz H que se compone de secuencias de *Hadamard* y que se construye recursivamente a través de la siguiente fórmula:

$$H_0 = (1)$$

$$H_k = \begin{pmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & -H_{k-1} \end{pmatrix}, \quad k \geq 1$$

Una vez se haya realizado la última iteración y tengamos la matriz H_8 habremos obtenido una matriz resultante de 256x256 que contendrá cada una de las combinaciones de 256 chips a introducir al comienzo de cada slot del SSCH.

La construcción de esta secuencia recursiva se ha realizado en el “subVI” denominado *ConstruyeH.VI* y cuyo funcionamiento se puede observar en la siguiente imagen:



Funcion recursiva que construye la Matriz H . Inicialmente creada para formar el canal secundario del SCH.
Se comprueba que el tamaño del array es 256x256.

Figura 6.3.1-1: Construcción de la Matriz H para el S-SCH

Aquí se observa como de forma iterativa la matriz H generada en un instante, es la entrada del posterior, y se realiza directamente la construcción de la matriz siguiente. Se replica dos veces en la primera fila H , y en la segunda se coloca H y $-H$, obteniendo como resultado el H final de la siguiente iteración.

Por lo tanto, una vez que tenemos las secuencias z y H , podemos obtener la secuencia de 256 chips a introducir en cada slot.

Para cada slot, se selecciona una fila de la matriz H y se multiplica elemento a elemento por la secuencia z . El resultado será los 256 primeros chips de un determinado slot del S-SCH.

Este proceso lo podemos observar en la siguiente imagen correspondiente al “subVI” *ConstruyeCss.Vi*:

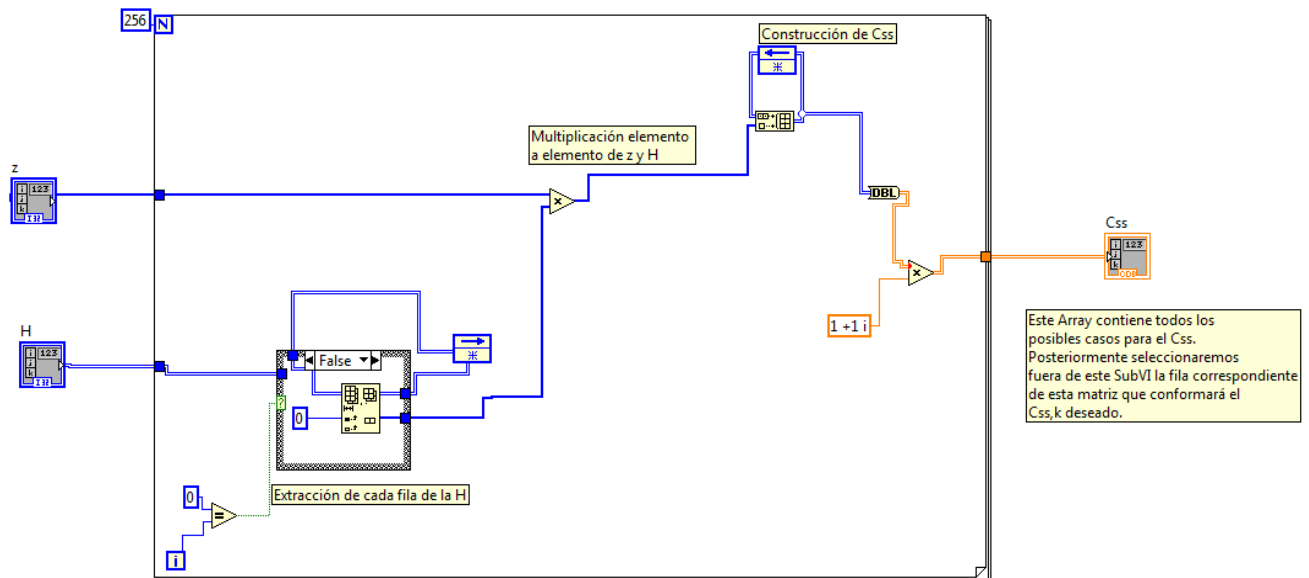


Figura 6.3.1-2: Construcción de la Matriz de posibles códigos de S-SCH

Pero la fila de la matriz H no es seleccionada de forma aleatoria. Viene determinada por el parámetro m , qué es:

$m=16 \times (k-1)$ donde k es un parámetro fijo para cada uno de los slots y para cada grupo posible de formación de S-SCHs. La tabla donde se definen cada uno de los posibles grupos de *Scrambling* del S-SCH se encuentra ubicada en el Anexo 3.

Finalmente obtendremos 15 secuencias de 256 chips cada una que serán los 256 primeros chips de cada slot de la trama del S-CCH, al igual que ocurría en el P-SCH. Después el SCH final se forma sumando elemento a elemento el P-SCH y el S-SCH.

Cabe destacar, como se explicó en el diseño, que el SCH tiene en cada slot 256 chips de contenido. Este contenido es el que se ha explicado en este apartado. El resto de cada slot, está relleno de 0s.

Es importante tener presente que sólo se han implementado los grupos 0 y 1 para el S-SCH. Esto se puede observar en la siguiente figura:

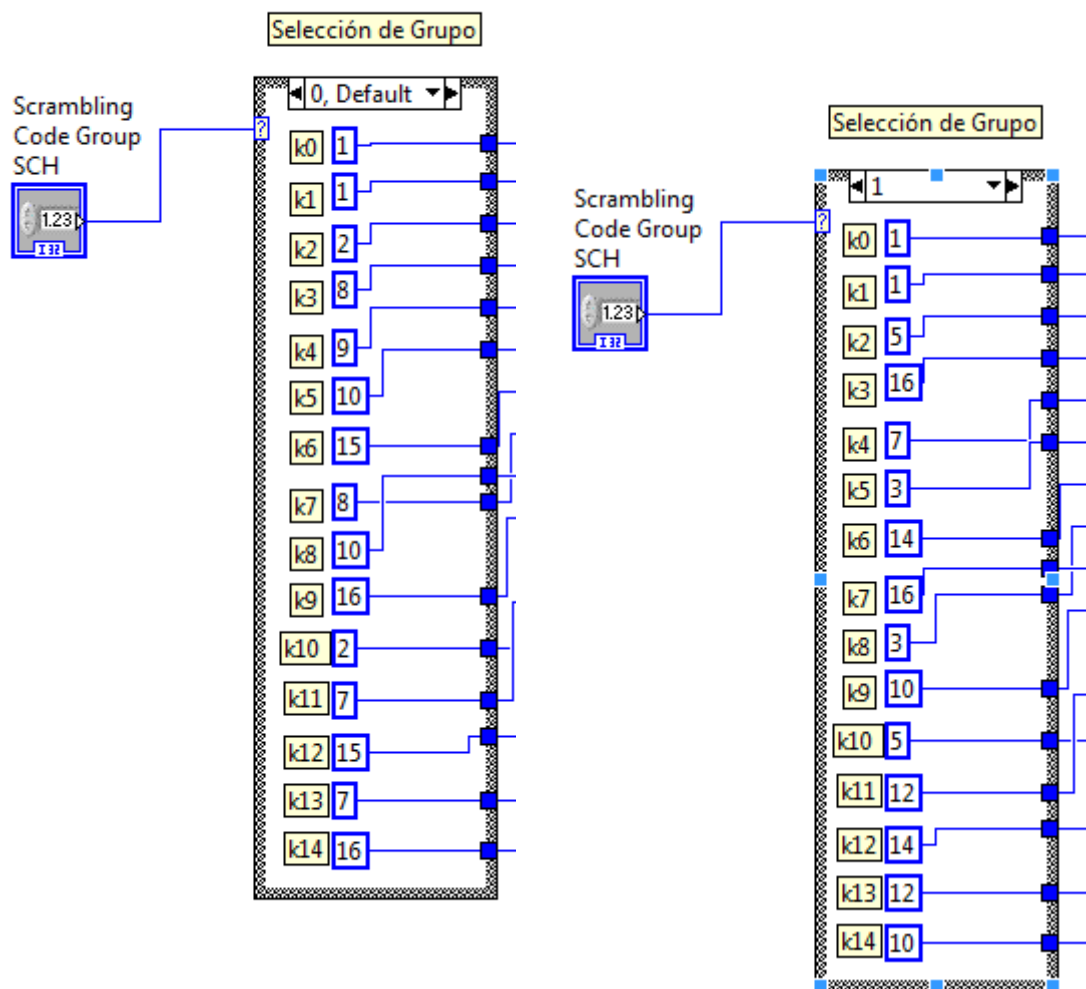


Figura 6.3.1-3: Generación de parámetros k para cada grupo de Scrambling en S-SCH

En la práctica, solo se ha trabajado con el grupo 0 de Scrambling, puesto que para la realización de las pruebas no aportaba valor añadido. Sin embargo, se consideró interesante ofrecer el inicio de ampliación para completar el SCH.

6.3.2 P-CPICH (*Primary Common Pilot Channel*)

Como se había citado en el apartado de diseño de los canales, el CPICH está compuesto de una secuencia predefinida de símbolos, con un factor de *Spreading* de 256, lo cual establece una tasa binaria de 30kbps.

En el caso del canal primario, y asumiendo que no existe diversidad de antenas, cada slot contiene 10 símbolos iguales a $1+j$. Por lo que en primer lugar lo que se ha hecho ha sido crear un slot piloto con 10 símbolos $A=1+j$.

Para facilitar la implementación, y como se repite el mismo símbolo para todo slot y para toda trama, el mismo símbolo ha sido ensanchado 10 veces. Por último se han concatenado cada uno de los 10 segmentos de longitud 256 formando así el slot de 2560 chips. Esto se realiza de la siguiente manera:

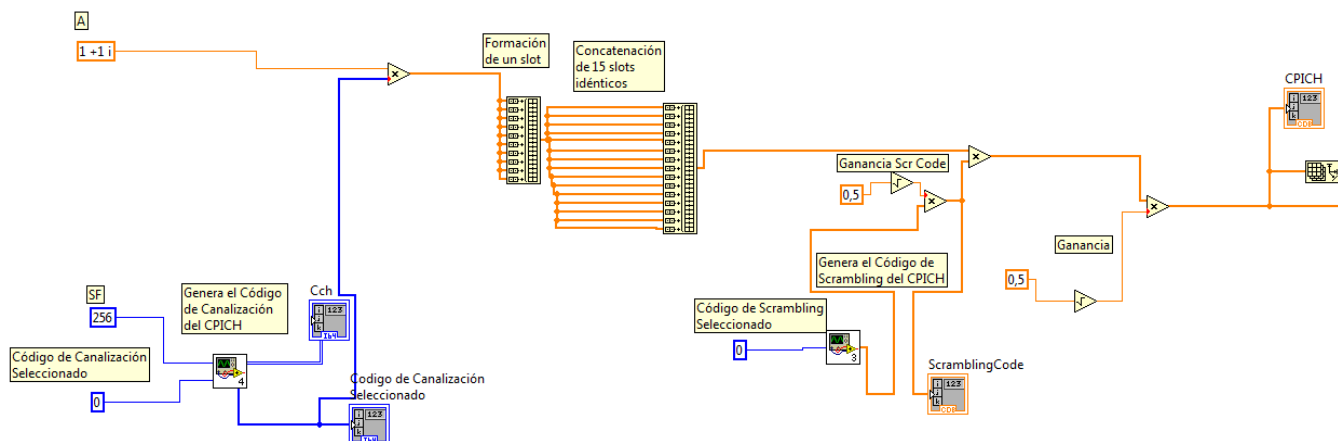


Figura 6.3.2: Formación del P-CPICH

Al usuario no se le permite seleccionar el código de *Spreading* que desee. A diferencia que ocurría con el P-CCPCH, no puede elegirse porque el CPICH siempre está ensanchado con el código 0 de SF=256. Esto se puede corroborar en el documento [21] en la sección 5.2.1 de códigos de canalización.

Como se había asumido el caso en el que no existe diversidad, este mismo slot debe repetirse 15 veces para formar la trama del CPICH, a falta del proceso de aleatorización.

Finalmente, la secuencia que se tiene en este instante de 38400 chips, se aleatoriza con ayuda de los códigos de *Scrambling* obteniéndose así la trama completa del CPICH.

6.3.3 P-CCPCH (*Primary Common Control Physical Channel*)

Como se ha citado en el apartado anterior, este canal va multiplexado con el SCH. Es decir, transmite su información cuando el SCH ha dejado de transmitir.

Como se ha visto en la sección de diseño, este canal porta 18 bits en cada slot con la información del BCH. En nuestro caso, se ha decidido dar la posibilidad al usuario de que elija entre bits aleatorios o un patrón de datos. (Sin embargo, en la práctica se ha trabajado fundamentalmente con los datos aleatorios, introduciéndose los patrones de datos en el DPCH. Esto se verá más adelante.)

Para el caso de bits aleatorios:

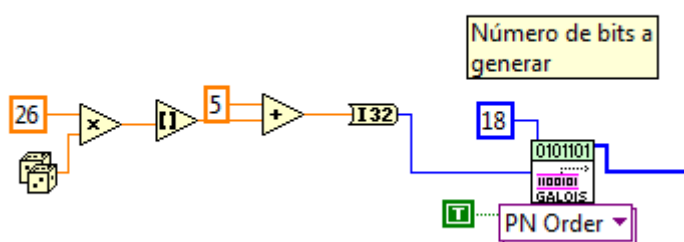


Figura 6.3.3-1: Generación de Bits Aleatorios para el P-CCPCH

En cuanto al caso de introducción del patrón de datos, se deben introducir 18 bits. Si se introducen más, se seleccionan los 18 primeros bits de la secuencia introducida. Si son menos, se rellena la secuencia con 0s.

La elección entre bits aleatorios o patrón de datos, se hace mediante un `case` para cada trama.

Una vez generadas las secuencias de 18 bits para cada slot, y antes de pasarlas por los módulos de ensanchado y aleatorización, se debe hacer un cambio de polaridad de la representación en binario. Lo que se conseguirá es que los 0s pasen a ser 1s y los 1s pasen a ser -1s. Tras este paso, se debe realizar el *Spreading* sobre la secuencia actual.

En este momento se le permite al usuario seleccionar el código de *Spreading* que desee. No se permite elegir el factor de ensanchado ya que el P-CCPCH tiene un SF fijo que es igual a 256. Esto se puede observar en la siguiente imagen:

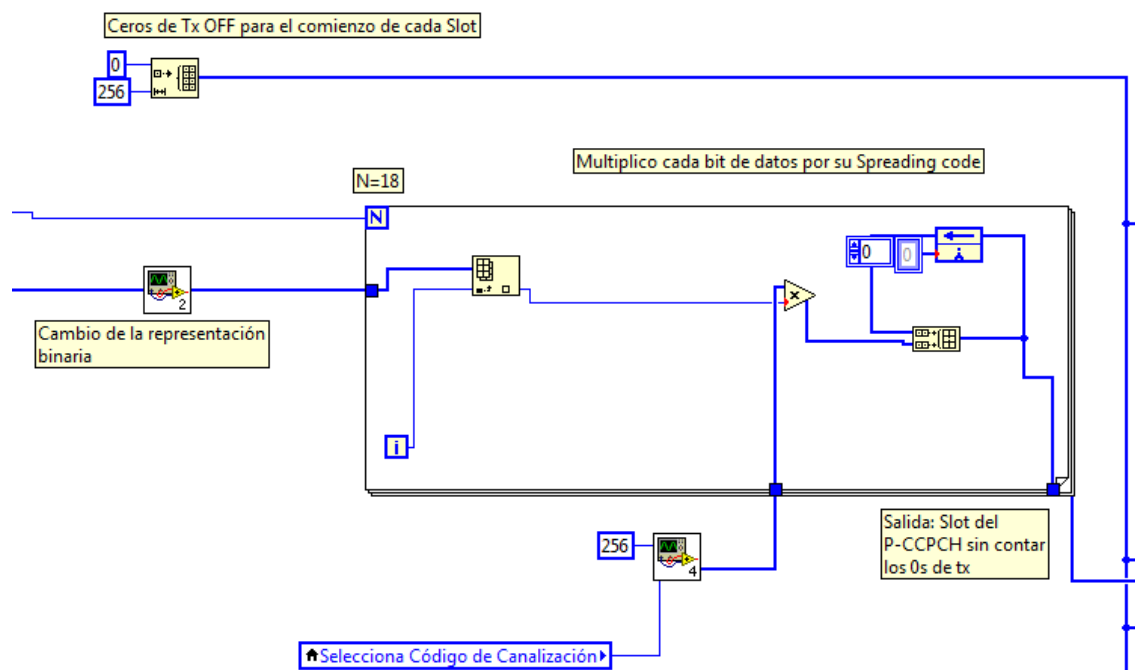


Figura 6.3.3-2: Formación del P-CCPCH

Una vez acabado el proceso de ensanchado, todos los slots se concatenan uno detrás de otro, formándose una secuencia de 76800 bits. Antes de que la secuencia se aleatorice con los códigos de *Scrambling*, que como ya se ha citado anteriormente es una secuencia compleja de 38400 símbolos, se debe hacer una correspondencia de bits a símbolos.

Esto se ha realizado de una forma muy sencilla: Los elementos pares de la secuencia conforman la parte real, y los elementos impares la parte imaginaria. Se puede observar en la siguiente captura:

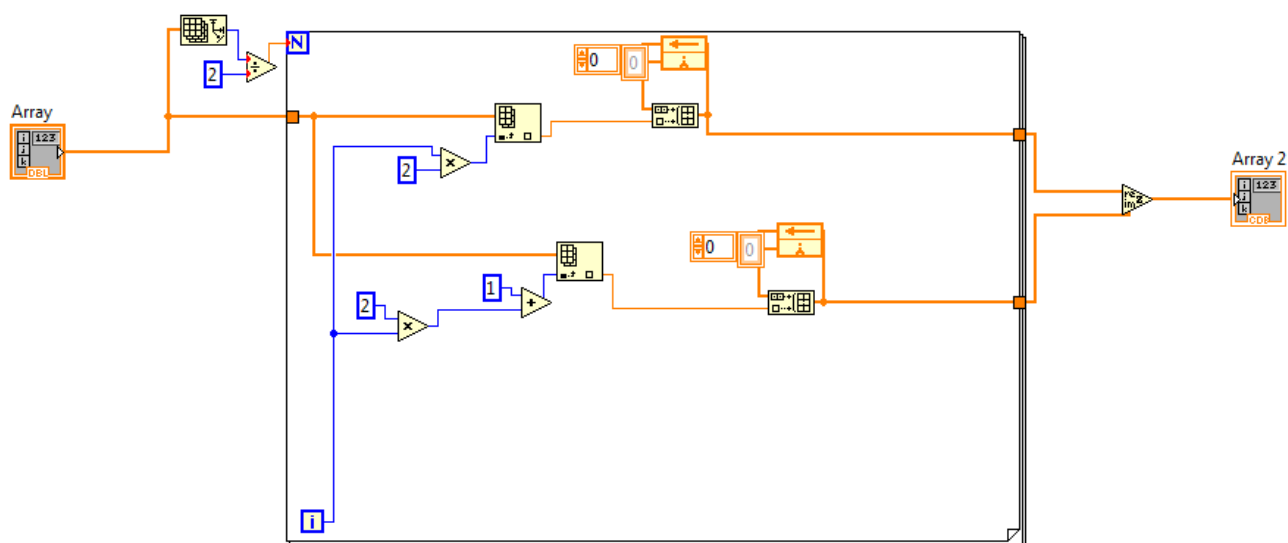


Figura 6.3.3-3: Paso de Bits a Símbolos QPSK

El último paso antes de tener la trama completada es aleatorizarla. Es decir, hay que multiplicar elemento a elemento la secuencia de 38400 símbolos actuales por la secuencia resultante del código de *Scrambling* seleccionado. Entonces, es cuando se obtiene la trama final de este canal.

Cabe destacar de nuevo, que en cada slot, los 256 primeros símbolos (chips), no se usan para transmitir información, ya que en ese hueco va la información del SCH. Por lo tanto lo que se ha implementado en *Labview* para solventar la situación, es lo mismo que en el SCH, rellenar con 256 ceros la parte inicial de cada slot, y a continuación se han introducido los chips restantes de información procedente de los 18 bits iniciales una vez ensanchados para conformar 2560 chips en cada slot.

6.3.4 PICH (*Paging Indicator Channel*)

En cuanto a este canal, para posibilitar su implementación, cabe destacar que posee principalmente cuatro parámetros que determinan su contenido. Como se ha citado en el apartado anterior de diseño, este canal no tiene tramas divididas en slots, si no que cada trama está compuesta por 300 bits con un SF=256.

En el programa se permite seleccionar varios parámetros, como son el N_p , que es el número de indicadores de *Pagings*; el *IMSI* del teléfono que se localizaría; y el parámetro P_q , que determinará el tipo de mapeo que se hará en el número de indicadores de *Paging*.

A continuación se muestra la pantalla de inicio del canal de *Paging*:

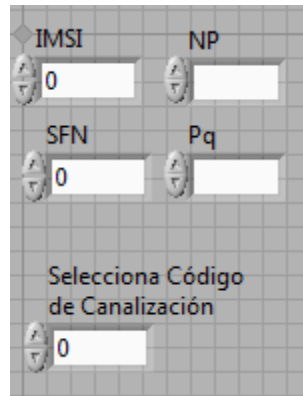


Figura 6.3.4-1: Panel Frontal para la formación del PICH

Se recuerda que el IMSI es un número de cómo máximo 15 dígitos.

En el propio código lo que se hizo en primer lugar fue implementar la fórmula que nos genera el parámetro q . Para realizar esta fórmula, se necesitaba conocer dos parámetros adicionales. Estos eran el PI , el cual viene dado por capas superiores y que aquí se ha decidido realizar a partir del $IMSI$. O sea, el usuario debería introducir el IMSI que desee y a partir de este se calcularía el PI . Otro parámetro importante para hallar la q es el SFN , el cual es un número de 12 bits, y por lo tanto es un contador que comienza en la primera trama por 0 y que como máximo puede alcanzar un valor igual a 4095, que se corresponde al número binario 111111111111 en decimal. Los últimos parámetros necesarios son el N_p y el P_q , que también puede ser indicado por el usuario.

La fórmula de la q se ha implementado de la siguiente forma en Labview:

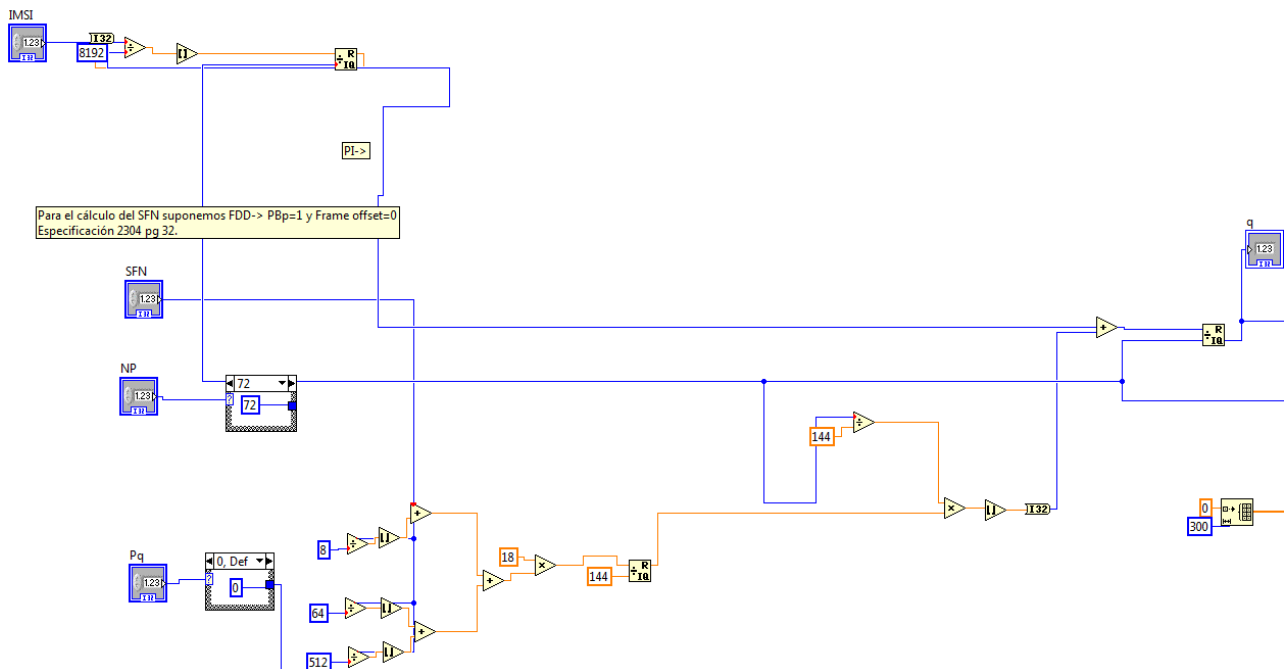


Figura 6.3.4-2: Formación del PICH. Parte 1

Una vez obtenido el parámetro q mediante un `case` que recoge las distintas posibilidades de N_p y P_q , se realiza una correspondencia directa de bits a los 300 disponibles para cada trama. Esto se muestra en la siguiente captura:

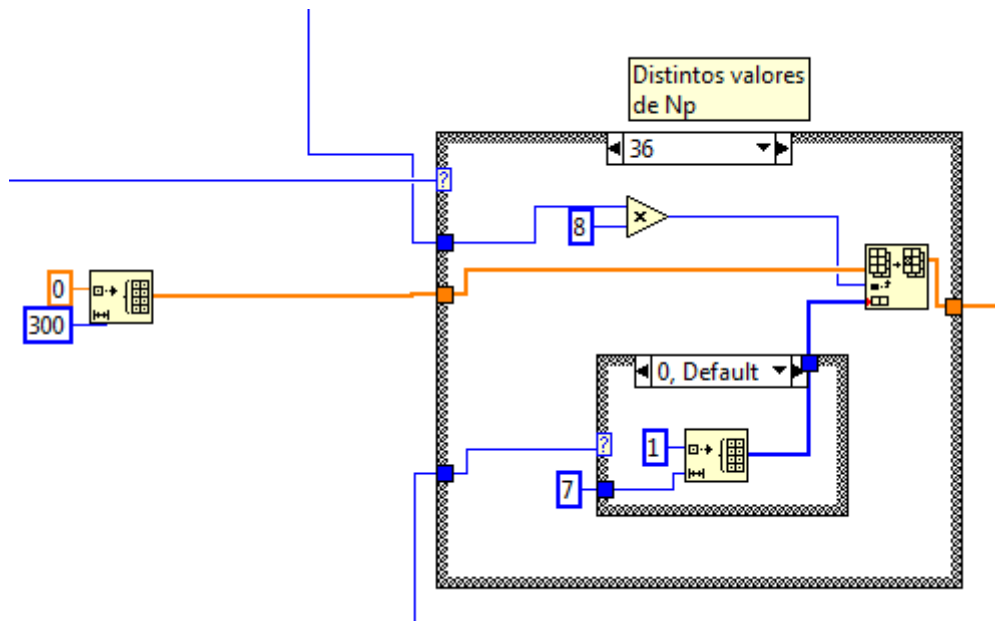


Figura 6.3.4-3: Formación del PICH. Parte 2

Por último, la secuencia de 300 bits del PICH debe ensancharse, con un $SF=256$ y un código seleccionado por el usuario:

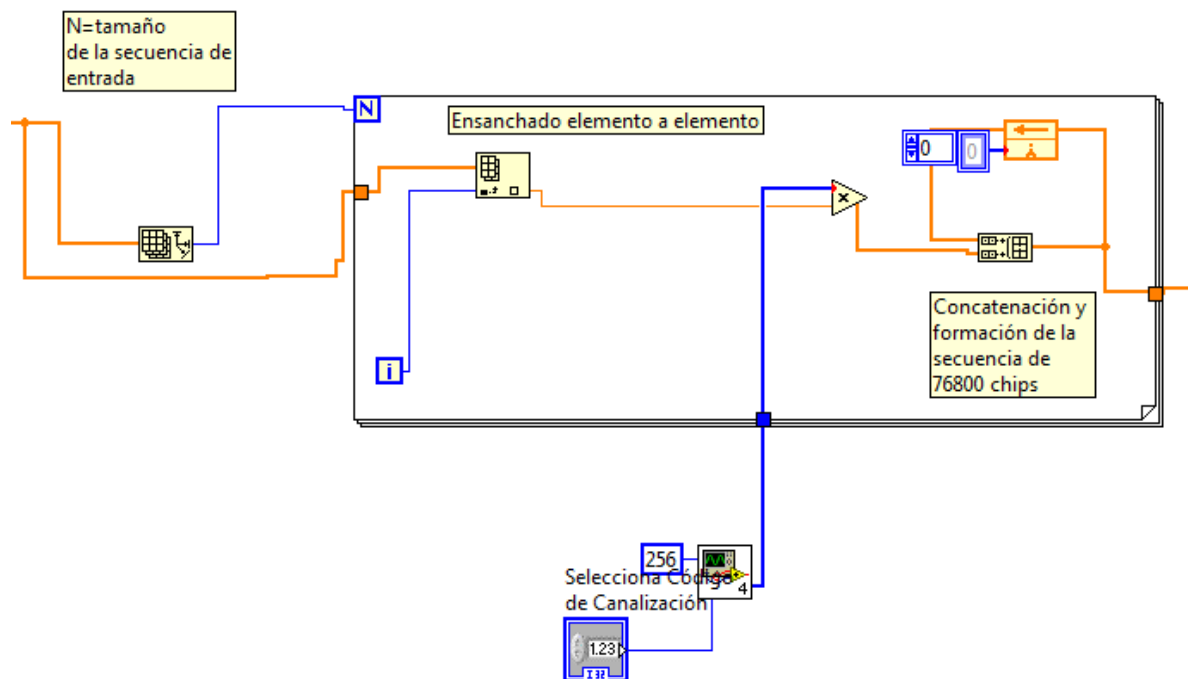


Figura 6.3.4-4: Formación del PICH. Ensanchamiento

Seguidamente los 76800 chips pasan a ser números complejos siendo los elementos pares de la secuencia origen la parte real y los impares la imaginaria, como se había hecho en los canales anteriores. Finalmente, la secuencia pasa a ser multiplicada por los códigos de *Scrambling* para así, tener una trama del PICH implementada.

6.3.5 DPCH (*Dedicated Physical Channel*)

Como se ha analizado en el apartado de diseño, en el caso del *downlink*, el canal dedicado de información de usuario y el canal dedicado de control van multiplexados en el mismo slot. Por lo tanto para realizar la implementación, ha habido que tener en cuenta en primera instancia que no se ha considerado el caso de diversidad. En segundo lugar, se ha decidido implementar a modo ejemplo el grupo 0 dentro de los distintos tipos de implementaciones que existen para el DPCH.

El grupo 0 nos ofrece la siguiente información:

Formato de slot #i	Tasa binaria de canal (kbps)	Tasa de símbolo de canal (ksps)	SF	Bits/Slot	DPDCH Bits/Slot		DPCCH Bits/Slot			Slots transmitidos por trama radio N_{Tr}
					N_{Datos1}	N_{Datos2}	N_{TPC}	N_{TFCI}	N_{Piloto}	
0	15	7.5	512	10	0	4	2	0	4	15

Tabla 6.3.5-1: Información para el grupo 0 del DPCH

Si se analiza detenidamente la información, lo que debemos extraer para la implementación de la trama es lo siguiente:

- $SF=512$
- Bits/slot=10
- $N_{datos1}=0$
- $N_{datos2}=4$
- $N_{TPC}=2$
- $N_{TFCI}=0$
- $N_{piloto}=4$

Una vez conocidos el número de bits dedicados a cada campo del slot, hace falta conocer cuál era la correspondencia de los bits de control para cada slot.

Como se puede ver en el Anexo 2, para los bits piloto existe una tabla dependiendo del número de bits dedicados al piloto, que indica el contenido para el slot. En nuestro caso necesitábamos el siguiente patrón:

$N_{piloto} = 4$ (*1)	
0	1
11	11
11	00
11	01
11	00
11	10
11	11
11	11
11	10
11	01
11	11
11	01
11	10
11	10
11	00
11	00

Tabla 6.3.5-2: Pilotos para el grupo 0 del DPCH

En la siguiente imagen se muestra la implementación en *Labview* para cada slot de los patrones de bit pilotos para $N_{\text{Pilot}}=4$.

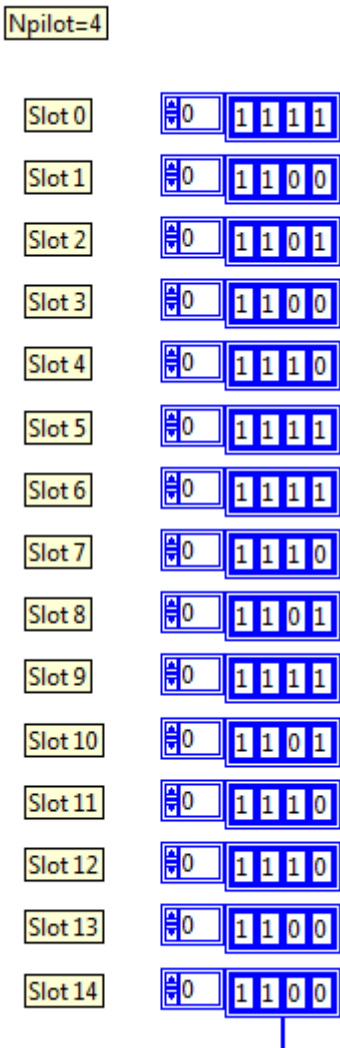


Figura 6.3.5-1: Formación de Pilotos DPCH grupo 0

Por otro lado, el contenido del TPC para el caso del grupo 0, que tiene longitud 2 es el siguiente:

NTPC=2	TPC Patrón de bits		Comando de control de potencia de transmisión
	NTPC=4	NTPC=8	
11	1111	11111111	1
00	0000	00000000	0

Tabla 6.3.5-3: Patrón de Bits del TPC para el grupo 0 del DPCH

En la implementación se contemplan las dos opciones de comando de transmisión de potencia mediante un case configurable desde dentro del programa.

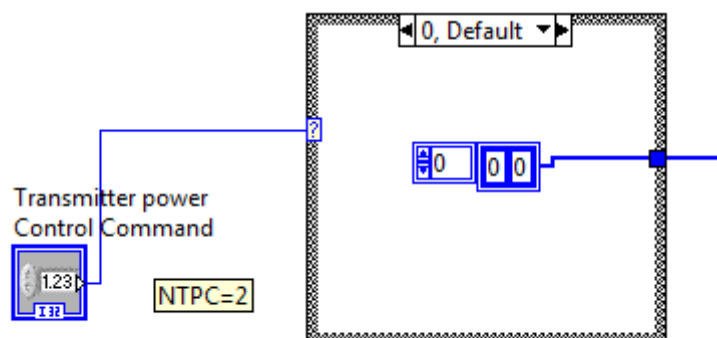


Figura 6.3.5-2: Formación del TPC grupo 0 DPCH

El TFCI no es obligatorio usarlo. Se puede decidir enviar 0 como implementación de transmisión discontinua DTX. En el caso del grupo 0, no se usa ningún bit para este cometido, y por lo tanto su implementación no ha sido realizada.

Por otro lado, se encuentra la parte del DPCH dedicada a información de usuario. Para ello cada slot tiene dos intervalos dedicados a los datos de usuario. En el caso del grupo 0, sólo tiene bits dedicados para el usuario el intervalo 2 (4 bits por slot). Para cada trama, se ofrece la posibilidad de elegir entre generación de bits aleatoria, o introducción de un patrón de bits. Esto se puede observar en la siguiente imagen:

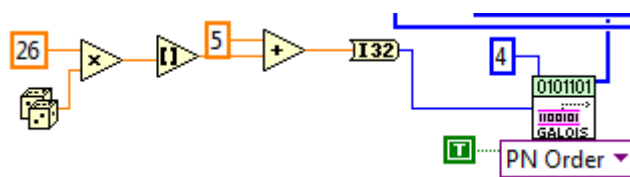


Figura 6.3.5-3: Generación de Bits aleatorios para grupo 0 DPCH

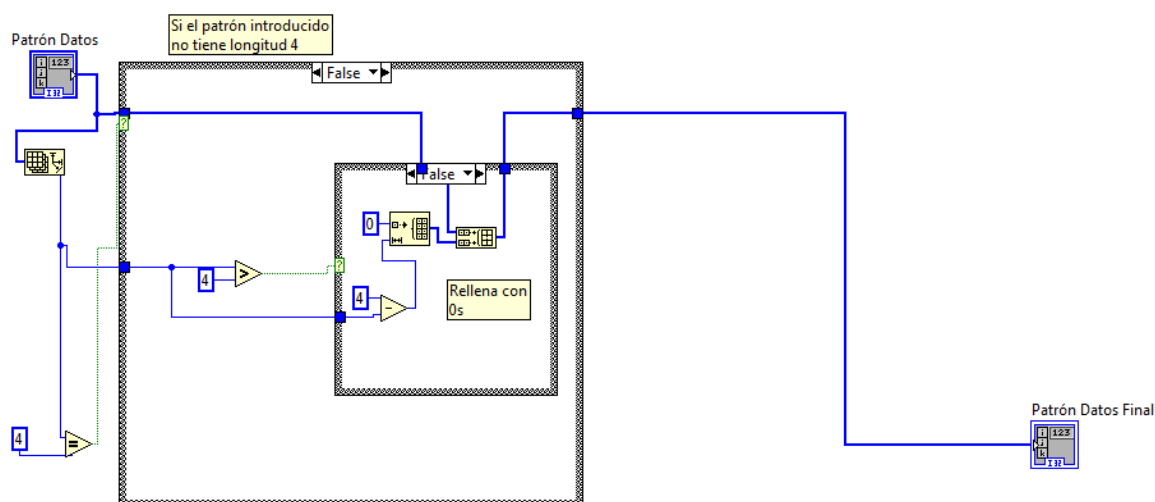


Figura 6.3.5-4: Introducción patrón de datos por parte del Usuario

Tras todo este proceso de generación de intervalos dentro de un mismo slot, se deben de concatenar las distintas partes en orden:

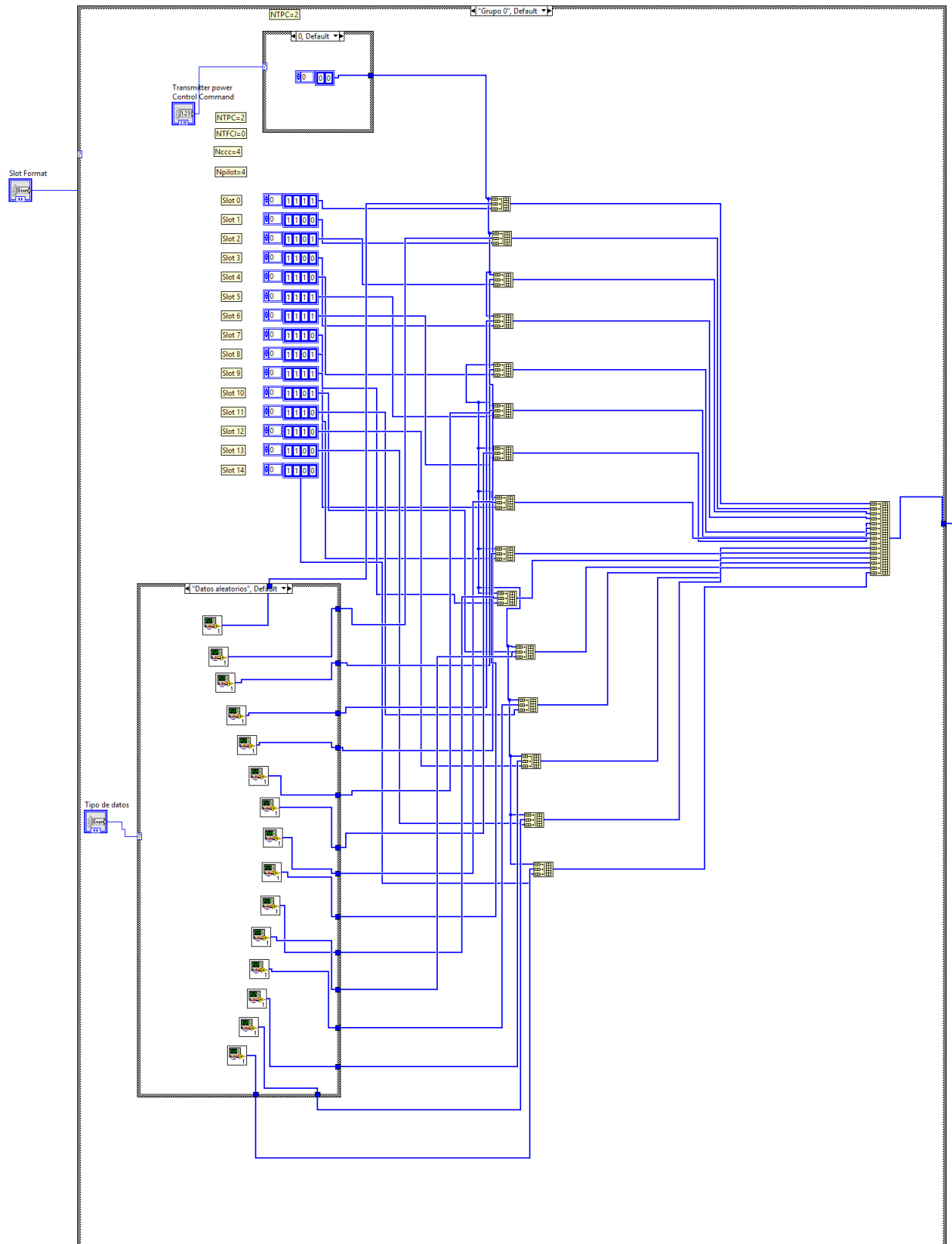


Figura 6.3.5-5: Concatenación de los intervalos que forman el slot del DPCH

Después se debe hacer un cambio de notación de los bits (0s por 1s y 1s por -1s) para posteriormente ensanchar cada uno de los slots con el factor de *Spreading* correspondiente.

En el caso del grupo 0 SF=512. El código de canalización puede ser elegido por el usuario. Esto lo podemos ver en la siguiente imagen:

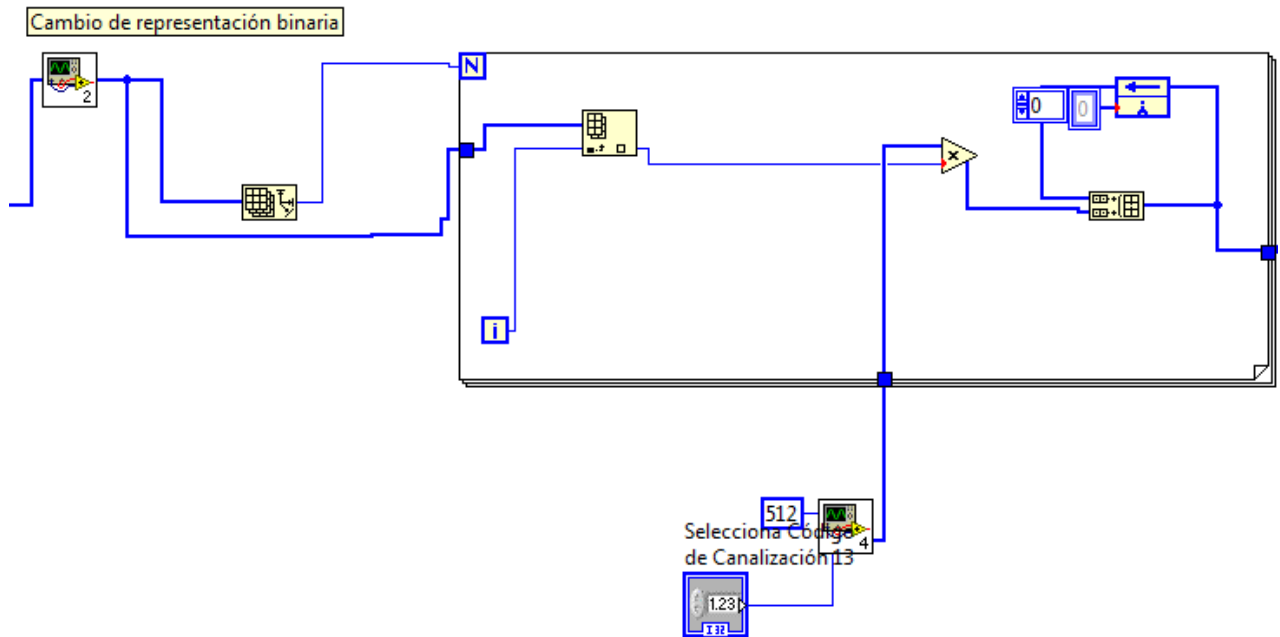


Figura 6.3.5-6: Ensanchamiento del DPCH

Tras el ensanchado de las secuencias, se concatenan todos los slots. Después se debe pasar de 76800 chips a 38400 símbolos complejos, de la misma forma que se había utilizado para el resto de canales que lo requerían.

Finalmente, la secuencia de 38400 símbolos complejos debe pasar por la fase de aleatorización para terminar el proceso de formación de la trama del DPCH.

7. VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Para la comprobación del correcto funcionamiento del transmisor de la estación base implementada desde *Labview*, se decidieron realizar una serie de pruebas. Para cada prueba, se mostrará un apartado donde aparecerá la ventana del panel frontal de la estación base. Aquí se podrán observar los canales activos y los parámetros configurados en cada uno de ellos.

Acto seguido al apartado de transmisión, en cada prueba habrá un apartado de resultados. Para facilitar el estudio de los resultados, se estudiarán por separado cada una de las ventanas que se presentan en el analizador vectorial. Por lo tanto se seguirá el siguiente esquema.

- Ventana de códigos.
- Espectro en frecuencia.
- Señal en tiempo.
- Constelación.
- Símbolos recibidos.

7.1 SCH Y CPICH

TRANSMISIÓN

No existen parámetros configurables para estos canales, puesto que son fijos durante toda la transmisión. Esta prueba es muy útil para ver la detección de códigos, tanto del código 0 de *Scrambling* como del código 0 de Canalización procedente del CPICH. Además se puede observar el espectro de la señal centrado en la frecuencia de portadora elegida, así como su ancho de banda igual a 5MHz. También es importante la realización de esta prueba para ver la constelación recibida y los símbolos decodificados.

En la siguiente imagen se muestra la configuración necesaria para la transmisión de estos dos canales:

Figura 7.1-1: Panel Frontal para Transmisión: SCH y CPICH

RESULTADOS

- Ventana de códigos: Se muestra el código de *Scrambling* 0 detectado y el código de *Spreading* 0, como se había configurado en las pruebas.
- Espectro en frecuencia: El espectro es de aproximadamente 5 MHz como establece el estándar.
- Señal en tiempo: La señal tiene la forma esperada. Los picos equidistantes que muestra la señal es debido a la presencia del SCH.
- Constelación: La forma de la constelación es correcta. Se observan dos QPSK ortogonales y con distinta energía.
- Símbolos recibidos: Al analizar los símbolos recibidos del CPICH, se observa perfectamente cómo se recibe continuamente el símbolo $1+j$, que se corresponde con los símbolos introducidos en el CPICH para todos los slots de la trama.

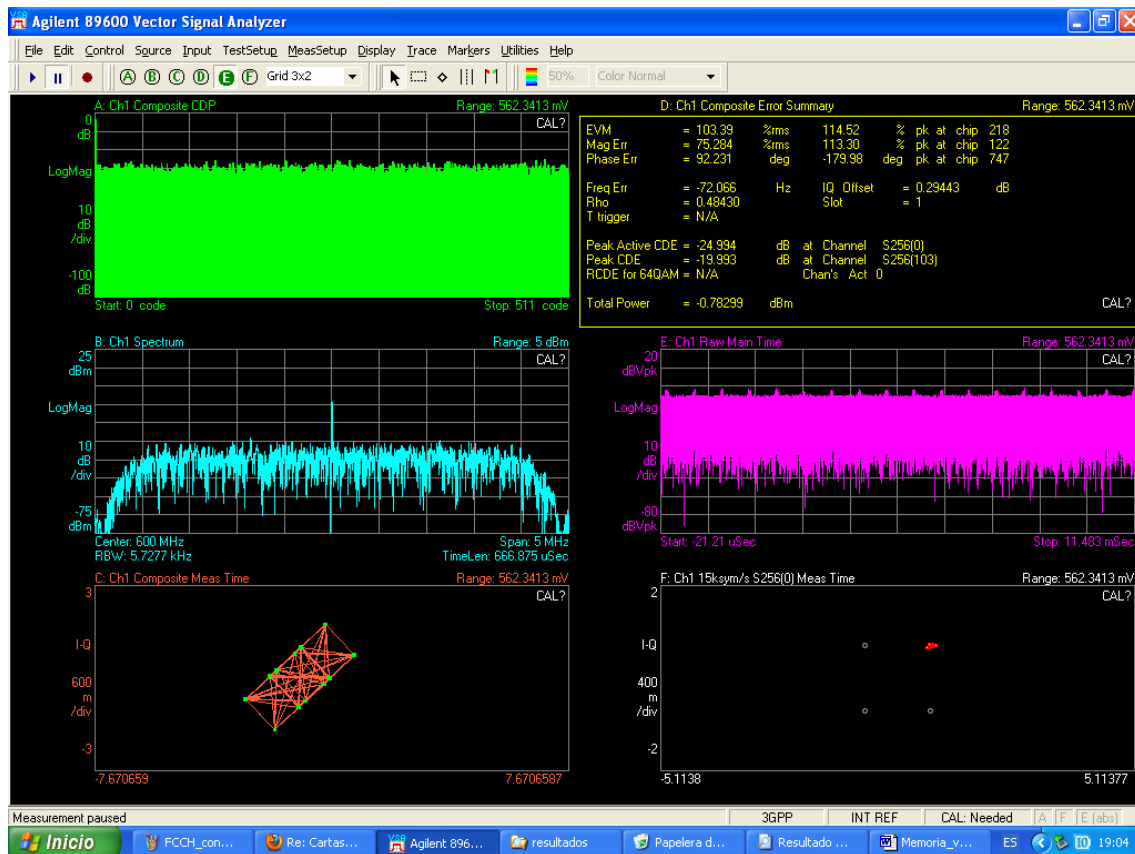


Figura 7.1-2: Resultado de la Transmisión: SCH y CPICH

7.2 SCH, P-CCPCH Y CPICH

TRANSMISIÓN

En este caso, se incluye a los canales anteriores el P-CCPCH. La realización de esta prueba es importante para ir viendo cómo se van recibiendo distintos códigos de canalización en el analizador vectorial, así como la variación en la constelación recibida y en los bits decodificados.

En la siguiente imagen se muestra la configuración básica de los canales. Se ha elegido la variable *Selecciona Código de Canalización P-CCPCH=1*.

Figura 7.2-1: Panel Frontal para Transmisión 1: SCH, CPICH y P-CCPCH

RESULTADOS

- Ventana de códigos: Se muestra el código de *Scrambling* 0 detectado y el código de *Spreading* 0 para el CPICH, y el 1 para el P-CCPCH, tal y como se había configurado en las pruebas.
- Espectro en frecuencia: El espectro es de aproximadamente 5 MHz como establece el estándar.
- Señal en tiempo: La señal tiene la forma esperada. Los picos equidistantes del SCH ya no se aprecian puesto que la señal ha sido completada con la información del P-CCPCH.
- Constelación: La forma de la constelación es correcta aunque ya se complica un poco debido a la inclusión de un nuevo canal.
- Símbolos recibidos: Los símbolos recibidos, si se decodifica el P-CCPCH, se pueden observar aleatorios tal y como se estableció en la prueba.

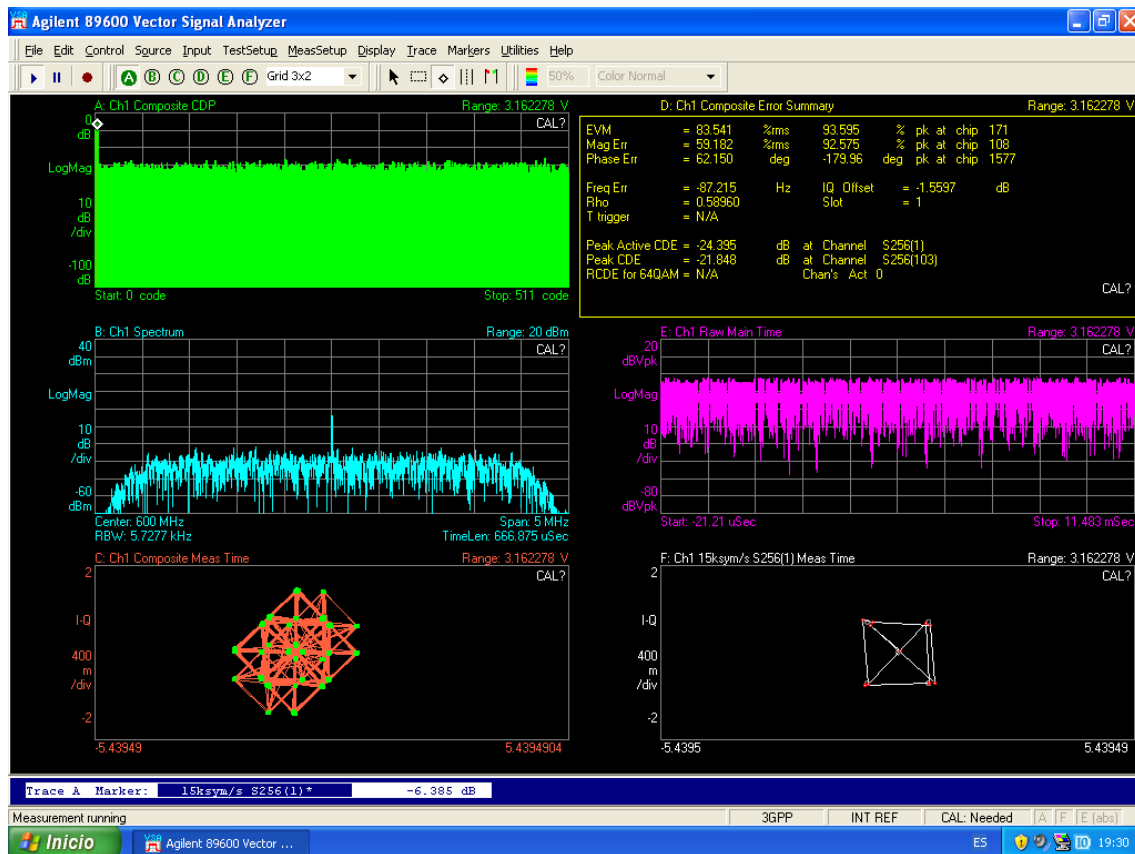


Figura 7.2-1: Resultado de la Transmisión 1: SCH, CPICH y P-CCPCH.

7.2.1 DISTINTOS CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN PARA P-CCPCH

TRANSMISIÓN

Cabe destacar en este punto la variación de los códigos de canalización para poder ver en recepción cómo varía la señal en el dominio de los códigos. Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

Selecciona Código de Canalización P-CCPCH=10.

Selecione Código de Scrambling para la Estación Base: 0

SCH Final: 0, CPICH Final: -1,41421

Selecione Código de Canalización P-CCPCH: 10

Tipo de datos P-CCPCH: Datos aleatorios

Patrón Datos P-CCPCH: 0, 18

P-CCPCH Final: 0, 0 + 0 i

Selecione Código de Canalización PICH: 0

IMSI: 0

Np: 18

Pq: 0

PICH Final: 0, 0 + 0 i

Selecione Código de Canalización DPCH: 0

Formato de Slot: Grupo 0

Tipo de datos DPCH: Datos aleatorios

Patrón Datos DPCH: 0, 18, 18, 18, 18

DPCH Final: 0, 0 + 0 i

Trama Final: 0, -1,41421 - 0,414214 i

Tamaño(Trama Final): 38400

Figura 7.2.1-1: Panel Frontal para Transmisión 2: SCH, CPICH P-CCPCH

Selecione Código de Canalización P-CCPCH=25.

Selecione Código de Scrambling para la Estación Base: 0

SCH Final: 0, CPICH Final: -1,41421

Selecione Código de Canalización P-CCPCH: 25

Tipo de datos P-CCPCH: Datos aleatorios

Patrón Datos P-CCPCH: 0, 18

P-CCPCH Final: 0, 0 + 0 i

Selecione Código de Canalización PICH: 0

IMSI: 0

Np: 18

Pq: 0

PICH Final: 0, 0 + 0 i

Selecione Código de Canalización DPCH: 0

Formato de Slot: Grupo 0

Tipo de datos DPCH: Datos aleatorios

Patrón Datos DPCH: 0, 18, 18, 18, 18

DPCH Final: 0, 0 + 0 i

Trama Final: 0, -1,41421 - 0,414214 i

Tamaño(Trama Final): 38400

Figura 7.2.1-2: Panel Frontal para Transmisión 3: SCH, CPICH y P-CCPCH

RESULTADOS

El objetivo de estas pruebas es ver la diferencia en la ventana del dominio de Códigos cuando se transmiten los canales con distintos códigos de canalización:

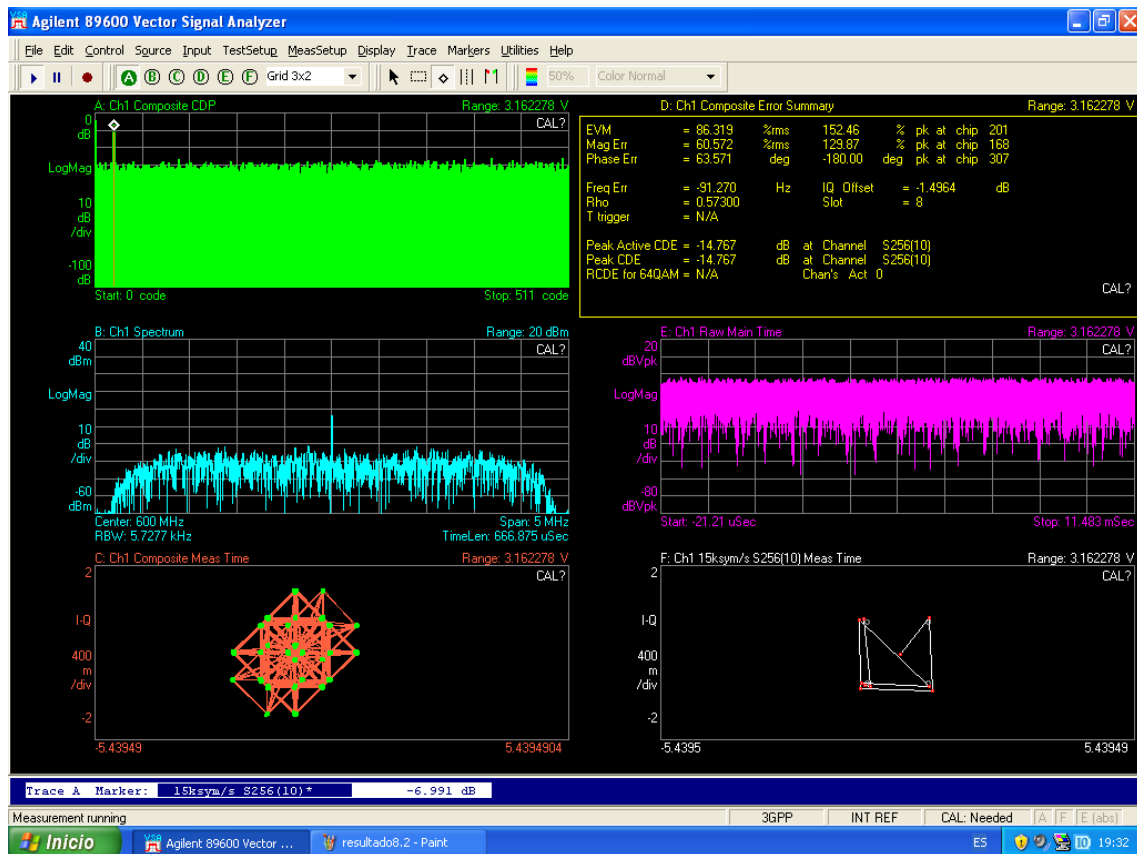


Figura 7.2.1-3: Resultado de la Transmisión 2: SCH, CPICH y P-CCPCH.

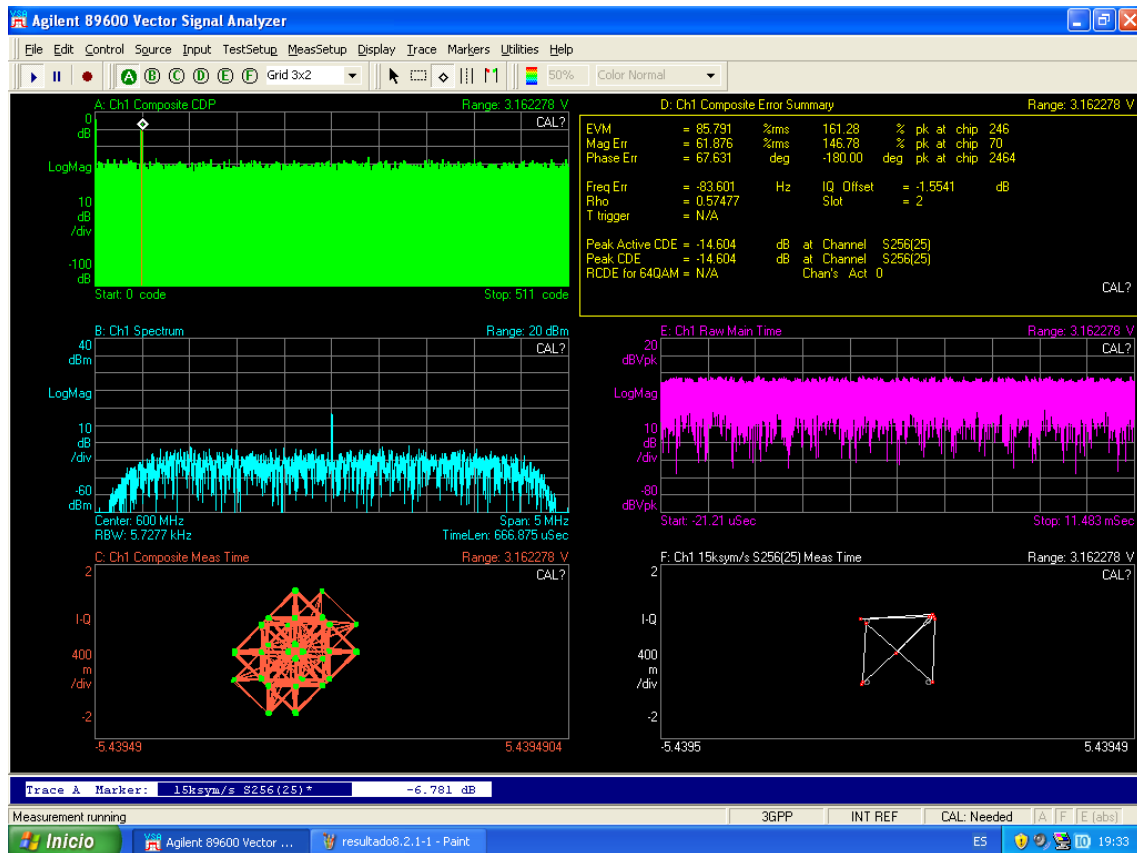


Figura 7.2.1-4: Resultado de la Transmisión 3: SCH, CPICH y P-CCPCH.

Como se observa, en todos los casos coinciden los códigos usados en transmisión con los detectados en recepción. El código de canalización aparece en la parte inferior de las figuras de resultados.

7.3 SCH, P-CCPCH, CPICH Y PICH

TRANSMISIÓN

En esta prueba se añade el PICH a los canales activados. Este canal tiene varios parámetros que se pueden configurar como se observa en la imagen. Los parámetros han sido elegidos de forma aleatoria entre los posibles valores que pueden tomar. Cabe destacar los valores seleccionados para los códigos de *Spreading* de cada uno de ellos.

Selecciona Código de Canalización P-CCPCH=1.

Selecciona Código de Canalización PICH=3.

The screenshot displays a configuration window for transmission parameters. At the top, five radio buttons are shown: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH, and DPCH, all of which are selected. Below these, the interface is organized into columns for each channel type. For SCH, the scrambling code is 0 and the final value is -1,41421. For CPICH, the spreading code is 0 and the final value is 0 + 1 i. For P-CCPCH, the channelization code is 1, the data type is 'Datos aleatorios', the pattern is 0, and the final value is 0 + 0 i. For PICH, the channelization code is 3, the IMSI is 2147483, the data type is 'Datos aleatorios', the pattern is 0, and the final value is 0 + 0 i. For DPCH, the channelization code is 0, the slot format is 'Grupo 0', the data type is 'Datos aleatorios', the pattern is 0, and the final value is 0 + 0 i. At the bottom, the final frame is shown as -1,41421 -0,414214 i with a size of 38400.

Figura 7.3-1: Panel Frontal para Transmisión 1: SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH

RESULTADOS

- Ventana de códigos: Se muestra el código de *Scrambling* 0 detectado y el código de *Spreading* 0 para el CPICH, el 1 para el P-CCPCH y el 3 para el PICH, como se había configurado en las pruebas.
- Espectro en frecuencia: El espectro es de aproximadamente 5 MHz como establece el estándar.
- Señal en tiempo: Llegados a este punto, la señal en tiempo deja de aportar información relevante por la inclusión de varios canales.
- Constelación: La forma de la constelación es correcta aunque ya se complica un poco debido a la inclusión de los cuatro canales.

- Símbolos recibidos: En este caso se está decodificando el PICH. Como se puede observar, parece que lo que recibe es aleatorio. Esto se debe a que los parámetros del PICH se han introducido aleatoriamente.

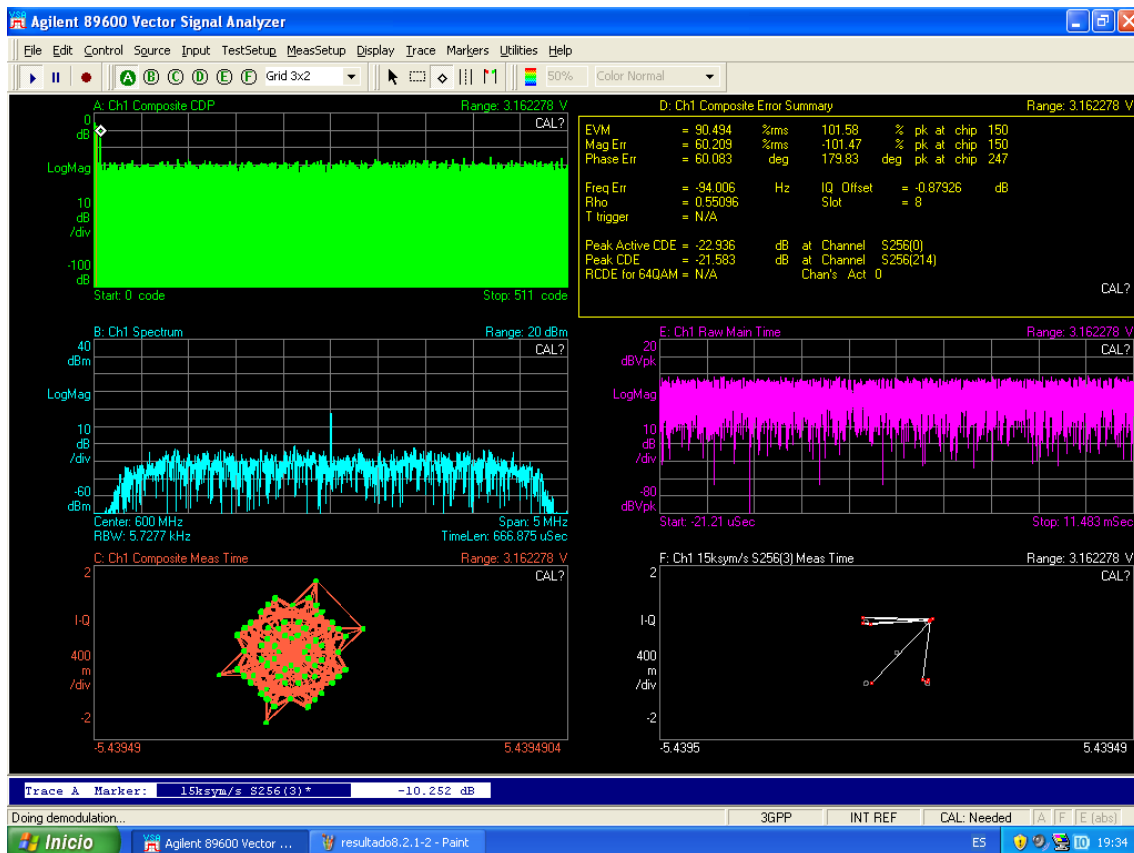


Figura 7.3-2: Resultado de la Transmisión 1: SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH

7.3.1 DISTINTOS CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN TRANSMISIÓN

Se realizaron simulaciones con distintos códigos de canalización para poder observar la recepción de los códigos de *Spreading* en el analizador. Las configuraciones fueron las siguientes:

Selecciona Código de Canalización P-CCPCH=25.

Selecciona Código de Canalización PICH=100.

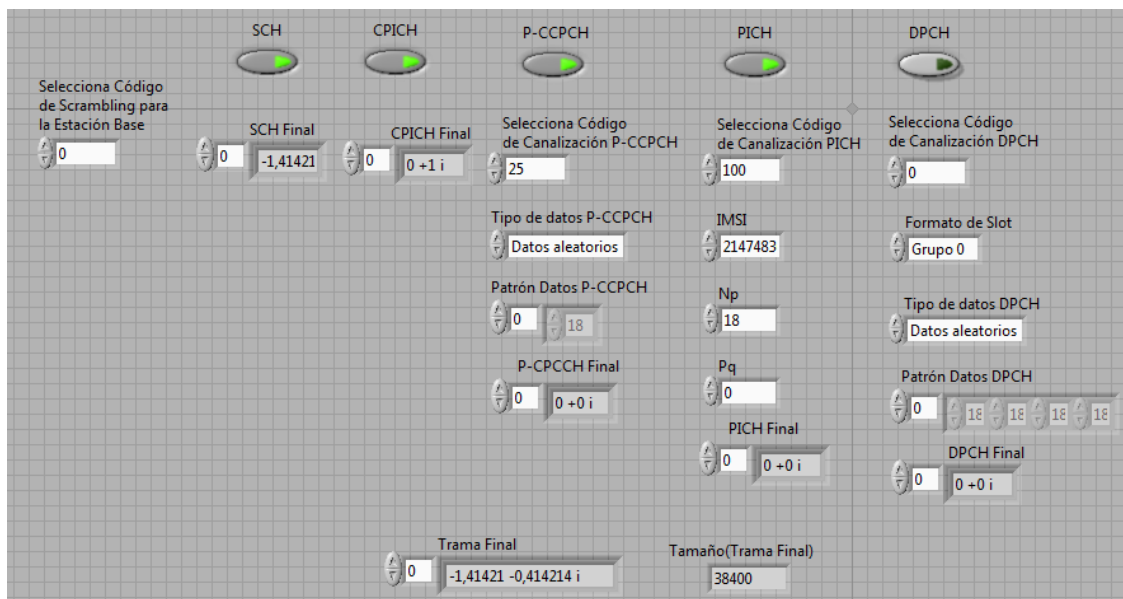


Figura 7.3.1-1: Panel Frontal para Transmisión 2: SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH

RESULTADOS

Al igual que en la sección anterior, el objetivo consistía en observar los diferentes dominios de códigos resultados de transmisiones con códigos de canalización diferentes.

En este primer caso, se decidió decodificar el P-CCPCH:

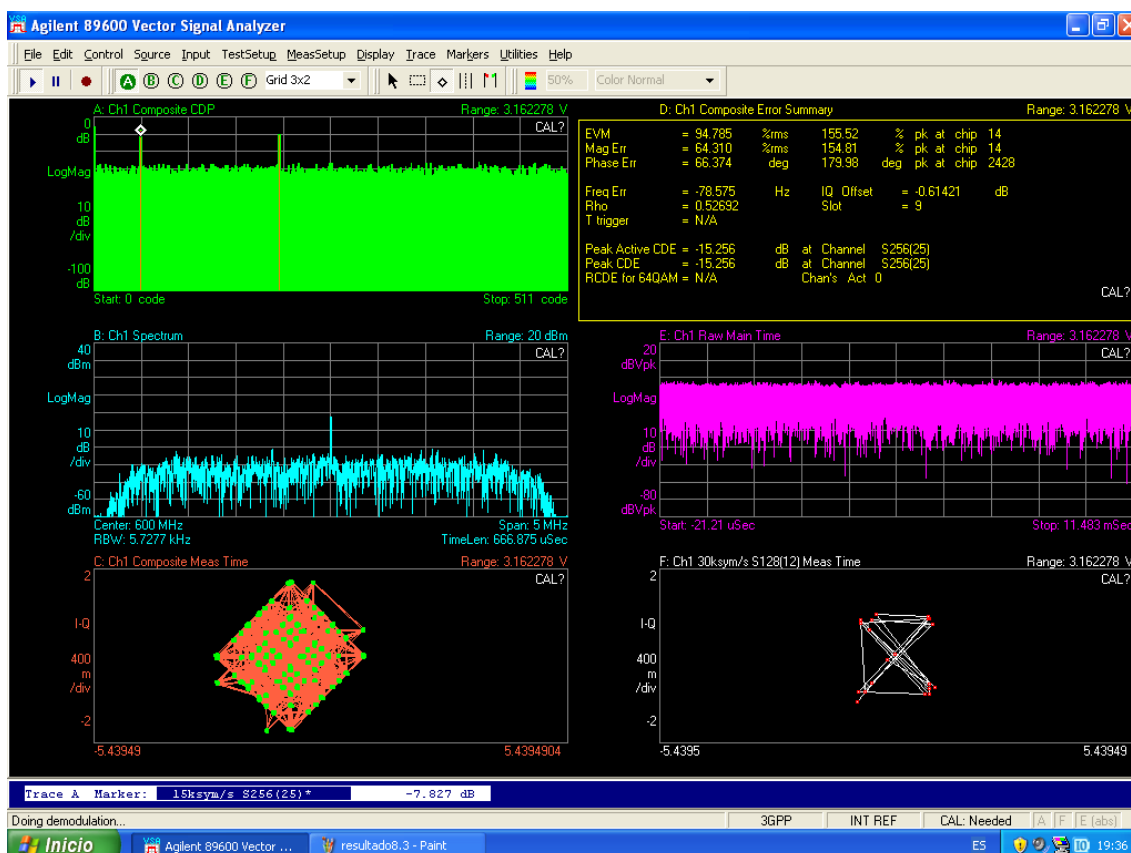


Figura 7.3.1-2: Resultado de la Transmisión 2: SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH

En el segundo caso, se decodificó el PICH:

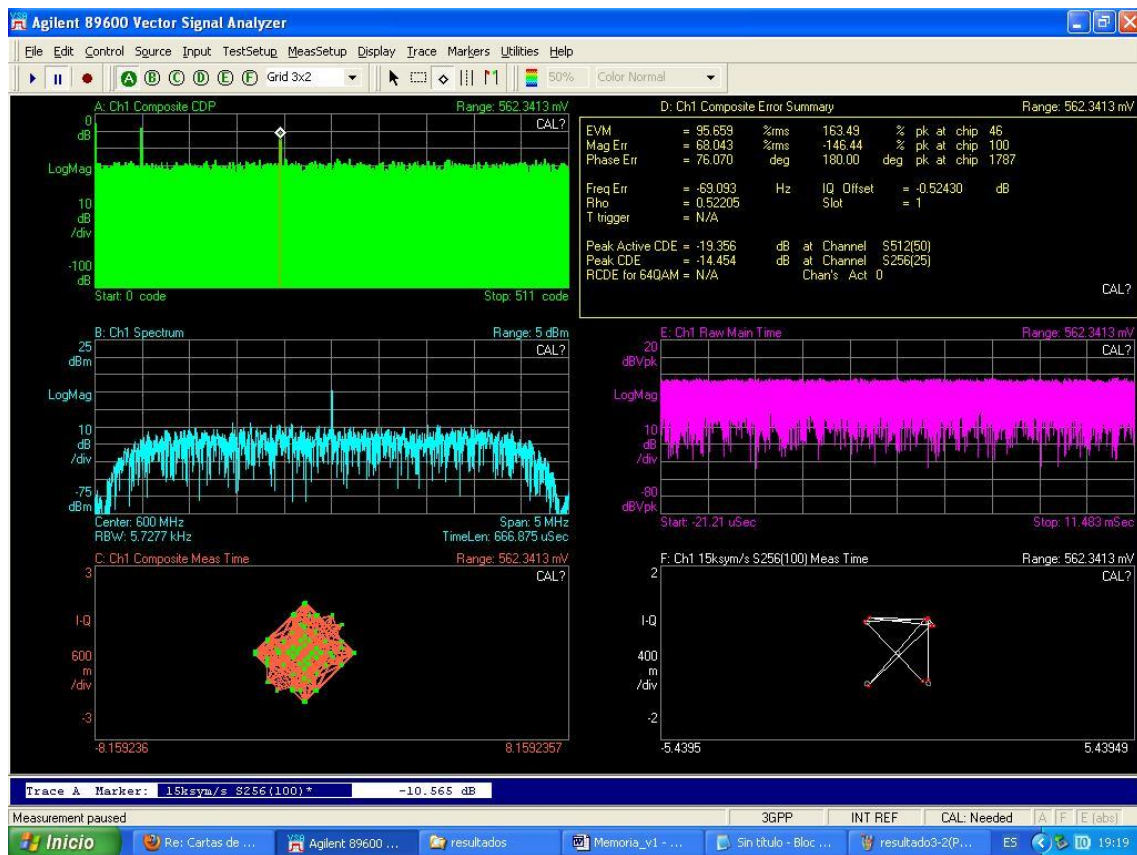


Figura 7.3.1-3: Resultado de la Transmisión 3: SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH

Como se observa, en todos los casos coinciden los códigos usados en transmisión con los detectados en recepción.

7.3.2 MODIFICACIONES PARÁMETROS DEL PICH

TRANSMISIÓN

En este punto, se decidió cambiar los parámetros del PICH para ver que le ocurría a la constelación y a los símbolos decodificados.

Seleciona Código de Scrambling para la Estación Base: 0

SCH Final: 0, CPICH Final: -1,41421

Seleciona Código de Canalización P-CCPCH: 25, Tipo de datos P-CCPCH: Datos aleatorios, Patrón Datos P-CCPCH: 0, P-CCPCH Final: 0 + 0 i

Seleciona Código de Canalización PICH: 100, IMSI: 4332245, Np: 144, Pq: 1, PICH Final: 0 + 0 i

Seleciona Código de Canalización DPCH: 0, Formato de Slot: Grupo 0, Tipo de datos DPCH: Datos aleatorios, Patrón Datos DPCH: 0, DPCH Final: 0 + 0 i

Trama Final: -1,41421 - 0,414214 i, Tamaño(Trama Final): 38400

Figura 7.3.2-1: Panel Frontal para Transmisión 3: SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH

RESULTADOS

Esta prueba aportó poca información nueva a la que ya se disponía. El motivo es que en los parámetros de análisis que se disponen, es imposible distinguir el cambio de los parámetros que se manipularon en la prueba. En cualquier caso, el resultado de la prueba se muestra en la siguiente figura:

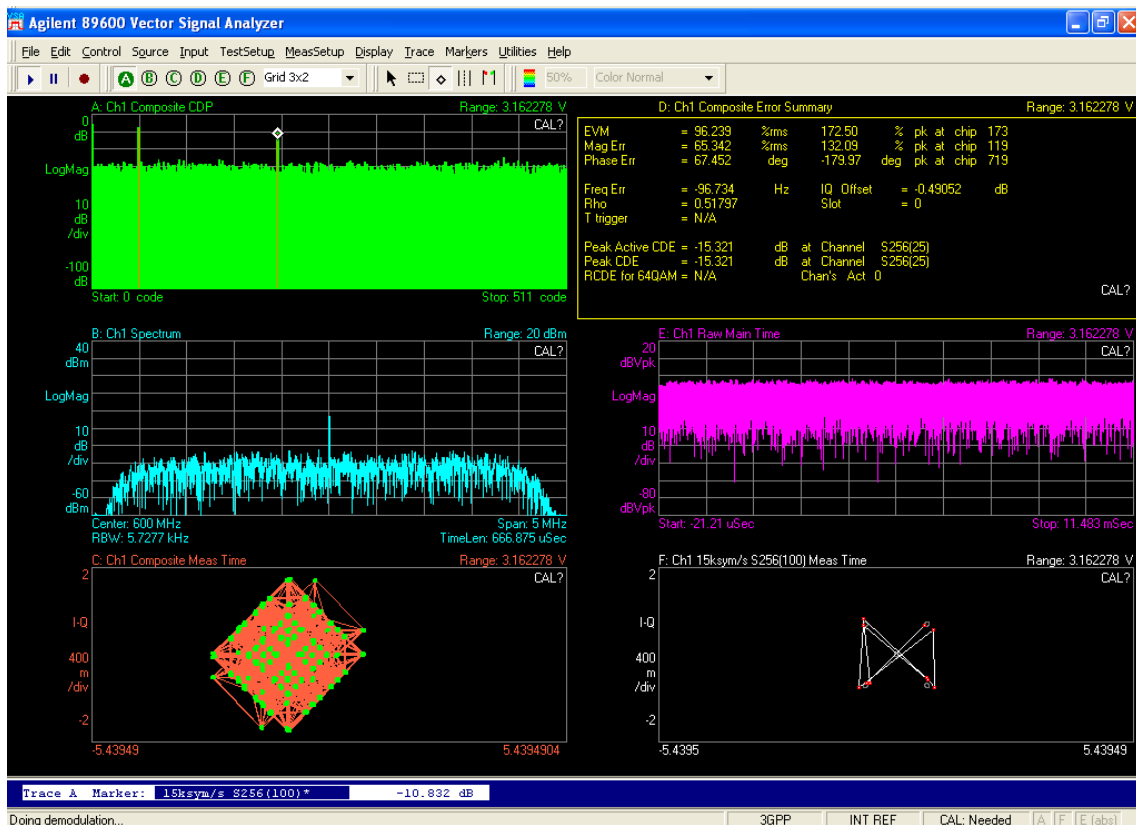


Figura 7.3.2-2: Resultado de la Transmisión 4: SCH, CPICH, P-CCPCH y PICH

TRANSMISIÓN

Constituye la prueba final con la transmisión conjunta de todos los canales implementados. En esta prueba se podrá observar la constelación final, todos los códigos que se han utilizado en los distintos canales, la información decodificada, el espectro final de la señal, la evolución de la señal en tiempo, etc.

En la primera prueba se realizó la siguiente configuración de los parámetros:

Selecciona Código de Canalización P-CCPCH=1.

Selecciona Código de Canalización PICH=3.

Selecciona Código de Canalización DPCH=10.

El resto de parámetros que también han sido establecidos pueden ser observados directamente en la siguiente imagen:

SCH	CPICH	P-CCPCH	PICH	DPCH
<p>Selecciona Código de Scrambling para la Estación Base</p> <p>0</p>	<p>SCH Final</p> <p>0 -1,41421</p>	<p>CPICH Final</p> <p>0 0 +1 i</p>	<p>Selecciona Código de Canalización P-CCPCH</p> <p>1</p>	<p>Selecciona Código de Canalización PICH</p> <p>3</p>
		<p>Selecciona Código de Canalización DPCH</p> <p>10</p>		
		<p>Tipo de datos P-CCPCH</p> <p>Datos aleatorios</p>	<p>Formato de Slot</p> <p>Grupo 0</p>	
		<p>Patrón Datos P-CCPCH</p> <p>0 18</p>	<p>Tipo de datos DPCH</p> <p>Datos aleatorios</p>	
		<p>P-CCPCH Final</p> <p>0 0 +0 i</p>	<p>Patrón Datos DPCH</p> <p>0 18 18 18 18</p>	
			<p>PICH Final</p> <p>0 0 +0 i</p>	<p>DPCH Final</p> <p>0 0 +1 i</p>
		<p>Tamaño(Trama Final)</p> <p>38400</p>		
		<p>Trama Final</p> <p>0 -1,41421 +0,585786 i</p>		

Figura 7.4-1: Panel Frontal para Transmisión 1: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH

RESULTADOS

- Ventana de códigos: Se muestra el código de *Scrambling* 0 detectado y el código de *Spreading* 0 para el CPICH, el 1 para el P-CCPCH y el 3 para el PICH y el 10 para el DPCH, como se había configurado en las pruebas.
- Espectro en frecuencia: El espectro es de aproximadamente 5 MHz como establece el estándar.
- Señal en tiempo: Llegados a este punto, la señal en tiempo deja de aportar información relevante por la inclusión de varios canales.
- Constelación: La forma de la constelación es correcta aunque ya se complica un poco debido a la inclusión de los cinco canales.

- Símbolos recibidos: En este caso se está decodificando el DPCH. Como se puede observar, parece que lo que recibe es aleatorio. Esto se debe a que el parámetro *Tipo de datos DPCH* se ha seleccionado *Datos Aleatorios*.

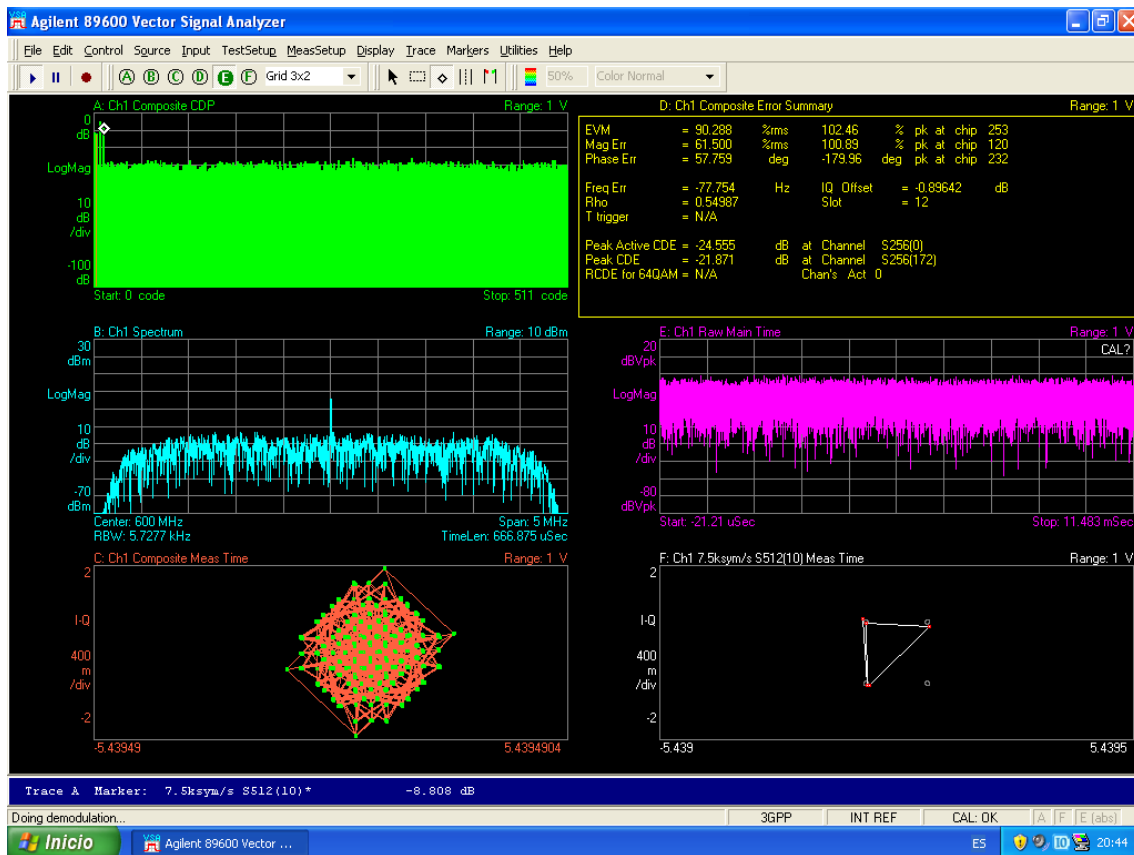


Figura 7.4-2: Resultado de la Transmisión 1: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH

7.4.1 DISTINTOS CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN

TRANSMISIÓN

Realización de pruebas modificando el código de canalización seleccionado.

Selecciona Código de Canalización P-CCPCH=1.

Selecciona Código de Canalización PICH=3.

Selecciona Código de Canalización DPCH=100.

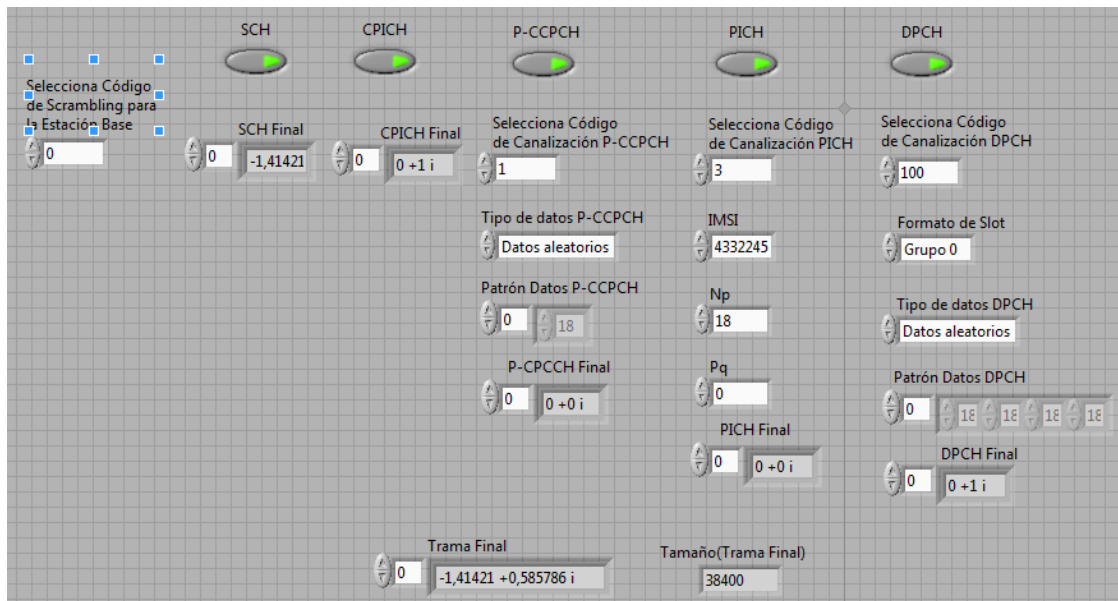


Figura 7.4.1-1: Panel Frontal para Transmisión 2: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH

RESULTADOS

De nuevo el objetivo de esta prueba consistía en observar los resultados de modificar los códigos de canalización de los canales transmitidos.

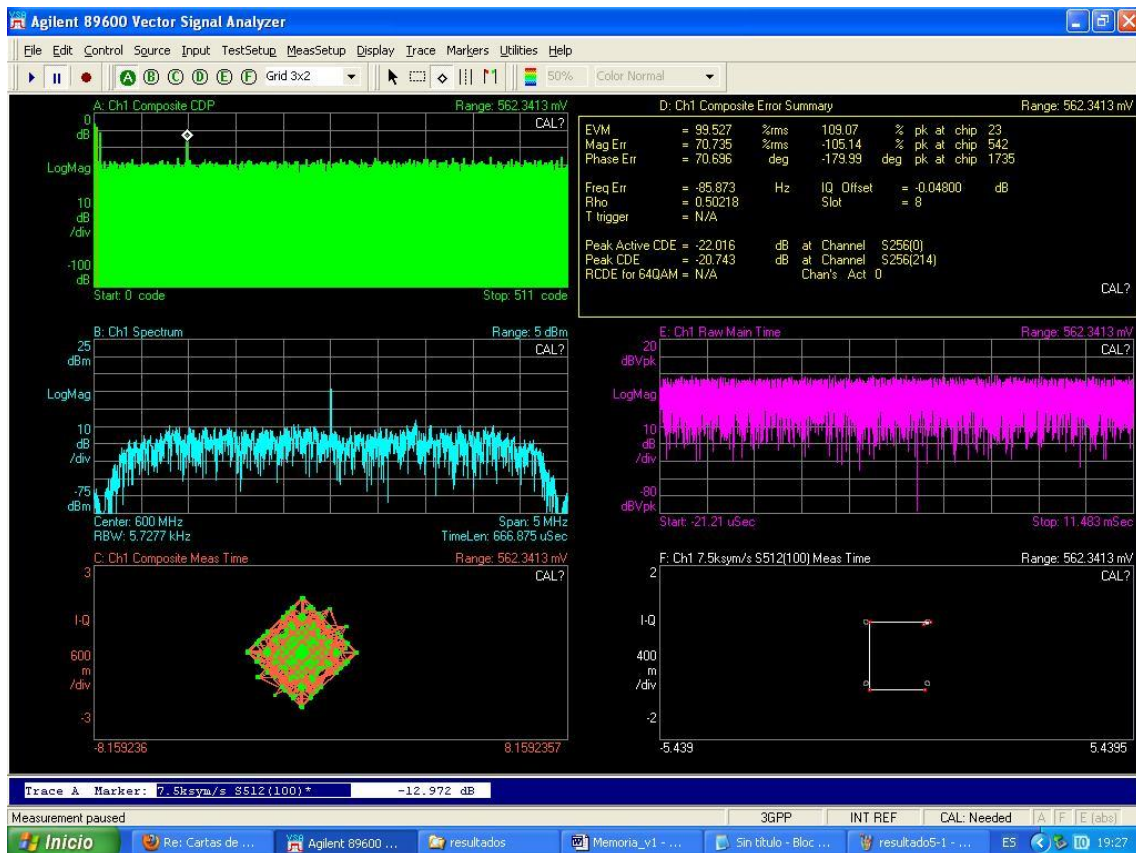


Figura 7.4.1-2: Resultado de la Transmisión 2: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH

Como se observa en las imágenes, sí que se cumplen las especificaciones lanzadas en la transmisión en cuanto a los códigos de canalización indicados para cada canal.

7.4.2 GENERACIÓN POR PATRONES DE DATOS

TRANSMISIÓN

Este es uno de los puntos más importantes de la simulación de la estación base. Lo que se trata es de observar si el patrón de datos introducido en el canal dedicado a datos, es correctamente decodificado. Para ello se probó con distintos patrones de longitud 4 bits:

El primer patrón elegido para el estudio fue: 0000

The screenshot shows a software interface for configuring transmission parameters. At the top, five radio buttons are labeled SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH, and DPCH. Below them are five columns of settings:

- SCH:** 'Selección Código de Scrambling para la Estación Base' is set to 0. 'SCH Final' is set to -1,41421.
- CPICH:** 'CPICH Final' is set to 0 + 1 i.
- P-CCPCH:** 'Selección Código de Canalización P-CCPCH' is set to 1. 'Tipo de datos P-CCPCH' is 'Datos aleatorios'. 'Patrón Datos P-CCPCH' is set to 0 and 18. 'P-CCPCH Final' is set to 0 and 0 + 0 i.
- PICH:** 'Selección Código de Canalización PICH' is set to 3. 'IMSI' is 4332245. 'Np' is 18. 'Pq' is 0. 'PICH Final' is set to 0 and 0 + 0 i.
- DPCH:** 'Selección Código de Canalización DPCH' is set to 20. 'Formato de Slot' is 'Grupo 0'. 'Tipo de datos DPCH' is 'Patrón de datos'. 'Patrón Datos DPCH' is set to 0, 0, 0, 0, 0, 0. 'DPCH Final' is set to 0 and 0 + 1 i.

At the bottom, 'Trama Final' is set to -1,41421 + 0,585786 i and 'Tamaño(Trama Final)' is 38400.

Figura 7.4.2-1: Panel Frontal para Transmisión 1: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH (0000)

El segundo patrón seleccionado fue: 0101

The screenshot shows the same software interface as Figure 7.4.2-1, but with the DPCH pattern changed. The DPCH 'Patrón Datos' is now set to 0, 0, 1, 0, 1, 1. All other parameters remain the same as in the first configuration.

Figura 7.4.2-2: Panel Frontal para Transmisión 2: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH (0101)

El tercer patrón utilizado fue: 1111

Figura 7.4.2-3: Panel Frontal para Transmisión 3: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH (1111)

RESULTADOS

Esta sección es importante. Se trata de observar cómo la constelación recibida al decodificar el canal DPCH cambia dependiendo del patrón de datos que haya sido introducido.

En la siguiente imagen se puede observar el resultado de transmitir un patrón de cuatro ceros consecutivos:

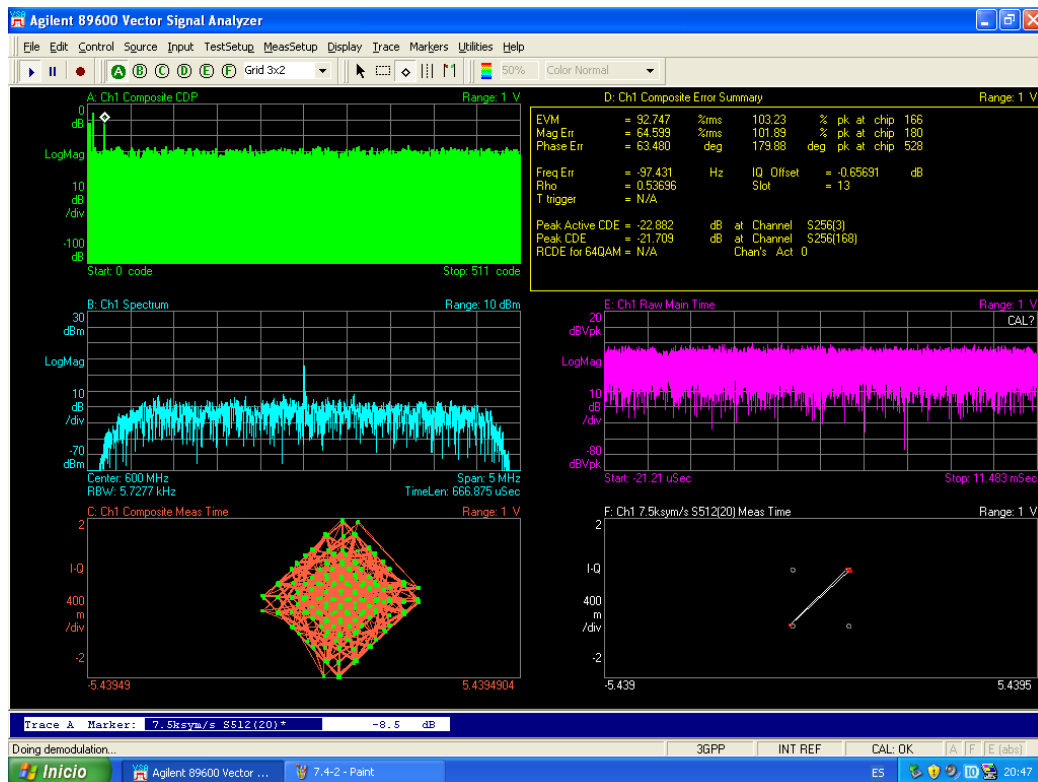


Figura 7.4.2-4: Resultado de la Transmisión 1: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH

Es obvio que la mayoría de símbolos se encuentran en el símbolo $1 + j$ de la constelación. Esto se debe a que al transmitir un patrón de 0000, estos cambian de notación al patrón 1111, que a su vez se convertirán en los símbolos $1+j$, $1-j$. De ahí que una vez demodulada la señal, se obtengan la constelación que muestra la imagen.

En la próxima imagen se puede observar el resultado de transmitir un patrón de cuatro ceros consecutivos:

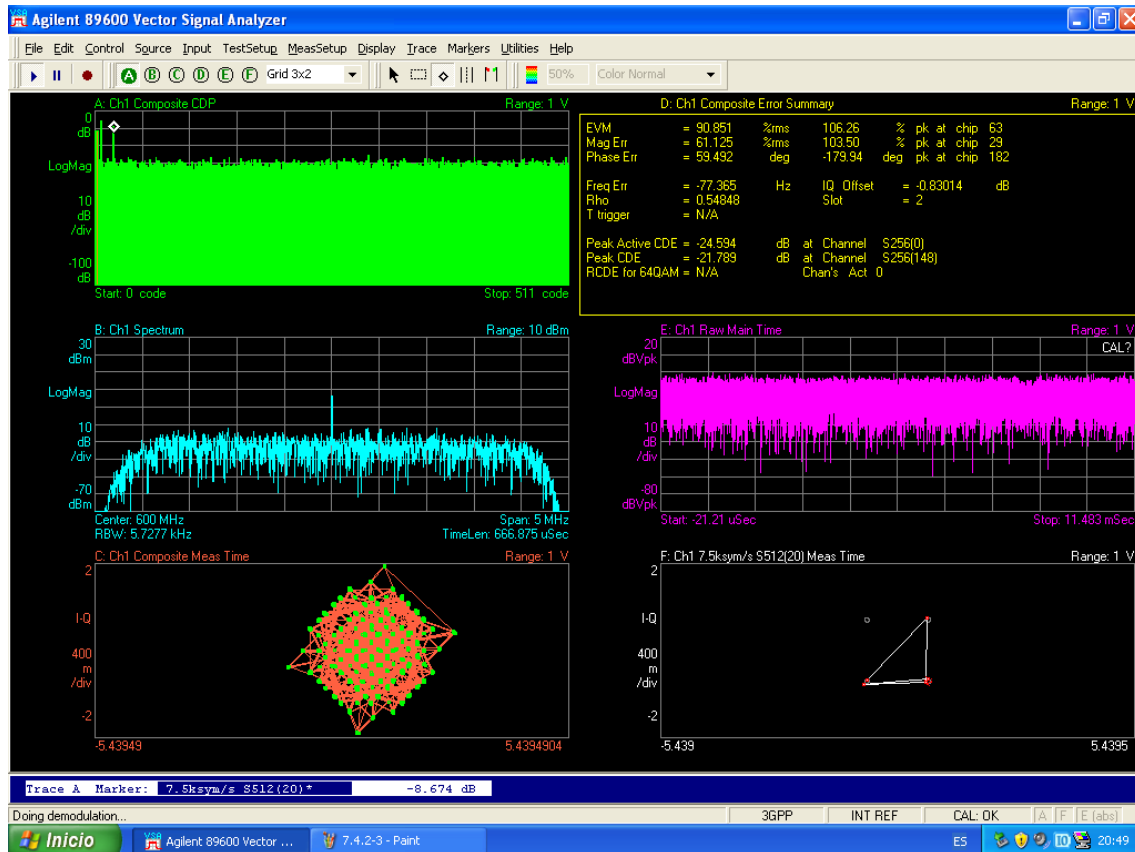


Figura 7.4.2-5: Resultado de la Transmisión 2: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH

En este segundo caso el patrón transmitido ha sido 0101. Este patrón tras el cambio de notación pasa a ser 1-11-1. Y tras la evolución de bits a símbolos, $1-j$, $1-j$. Por este motivo, tras el proceso de demodulación en el analizador, la mayoría de los símbolos se encuentran concentrados en el $1-j$.

La última prueba con distintos patrones que se realizó fue efectuada con un patrón de cuatro unos consecutivos:

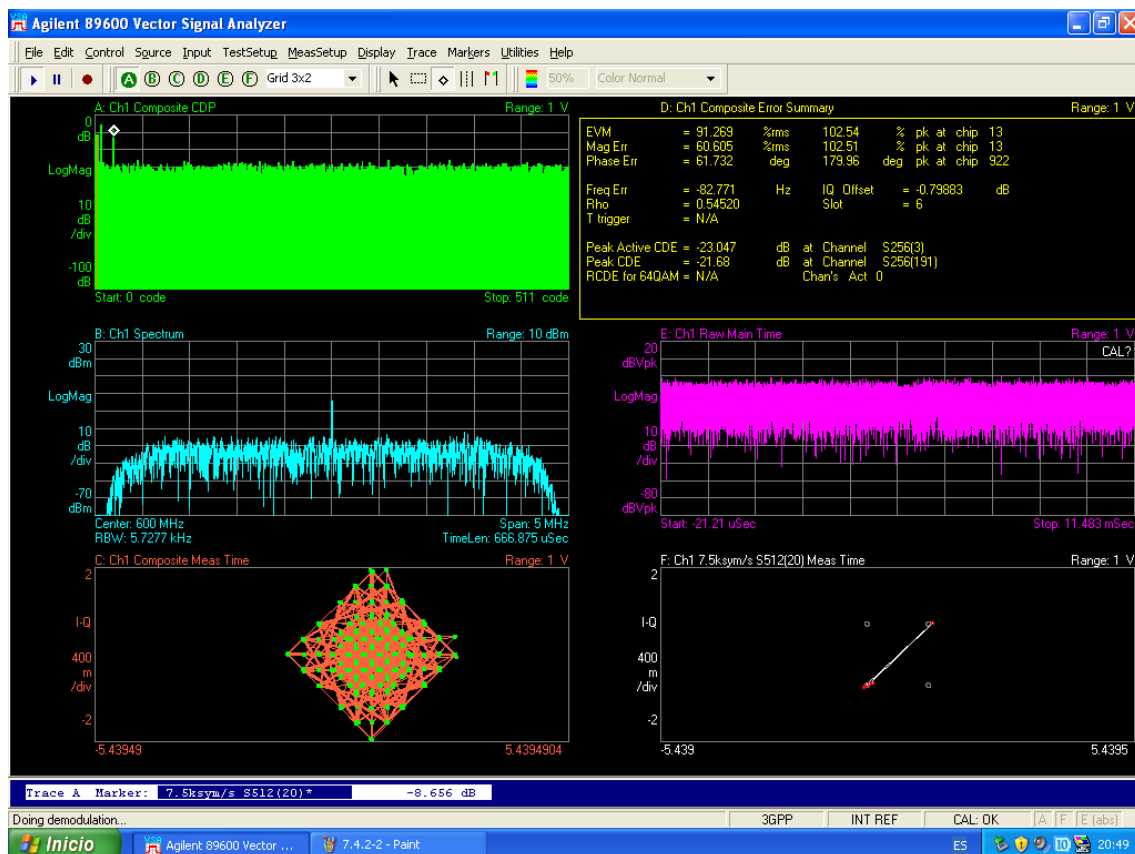


Figura 7.4.2-6: Resultado de la Transmisión 3: SCH, CPICH, P-CCPCH, PICH y DPCH

Esta última captura muestra que los símbolos decodificados del canal DPCH se encuentran concentrados en -1-j. El patrón de datos enviado era 1111, que tras el cambio de notación pasa a ser -1-1-1-1, y que finalmente conforma los símbolos -1-j y -1-j sucesivamente. Por ello la mayoría de los símbolos se encuentran concentrados alrededor del -1-j.

Esta prueba es una de las más importantes, puesto que demuestra cómo realmente al receptor le llegan aquellos símbolos que se habían transmitido. Aquellos símbolos que no se encuentran en el símbolo de datos que se había establecido, son fruto del canal dedicado de control que se transmite multiplexado en tiempo con el de datos en el enlace de bajada. La formación de la trama completa del DPCH fue estudiada en el apartado 6.3.5 en profundidad.

7.5 TRANSMISIÓN CON DISTINTOS CÓDIGOS DE ALEATORIZACIÓN

TRANSMISIÓN

Esta última prueba consiste simplemente en modificar el código de *Scrambling* de la estación base para comprobar que el analizador VSA deja de detectar cualquier tipo de señal a la entrada. Después se puede observar como si establecemos el código de *Scrambling* en recepción a mismo que se ha configurado en transmisión recupera la recepción.

Esta primera imagen muestra la transmisión con el código de *Scrambling* 0:

Figura 7.5-1: Panel frontal Transmisión 1 para diferenciación de Códigos de *Scrambling*

Esta segunda imagen muestra la transmisión con el código de *Scrambling* 1:

Figura 7.5-2: Panel Frontal Transmisión 2 para diferenciación de Códigos de *Scrambling*

RESULTADOS

Los resultados muestran de forma clara y concisa lo que se deseaba conseguir con esta prueba. Se observa que si la estación base transmite con el código de *Scrambling* 0, sólo detectará el receptor que le está llegando información cuando se le indique expresamente que la información viene aleatorizada con el código de *Scrambling* 0. Si el receptor espera el código de *Scrambling* 1, no detectará nada. En cambio si la estación base transmite con el código de *Scrambling* 1, y dicho código lo espera el receptor, decodificará la información sin problemas. Las siguientes capturas muestran los resultados de la prueba:

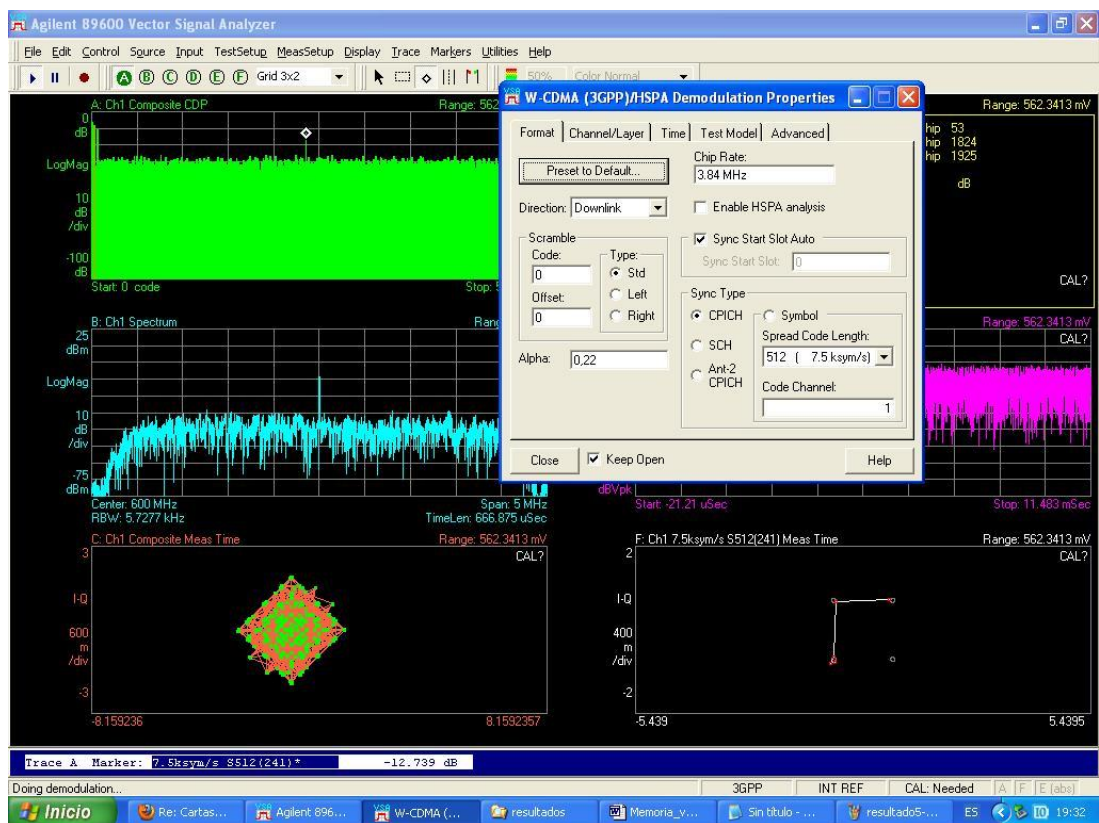


Figura 7.5-3: Transmisión con C.Scrambling 0. Recepción con C.Scrambling 0

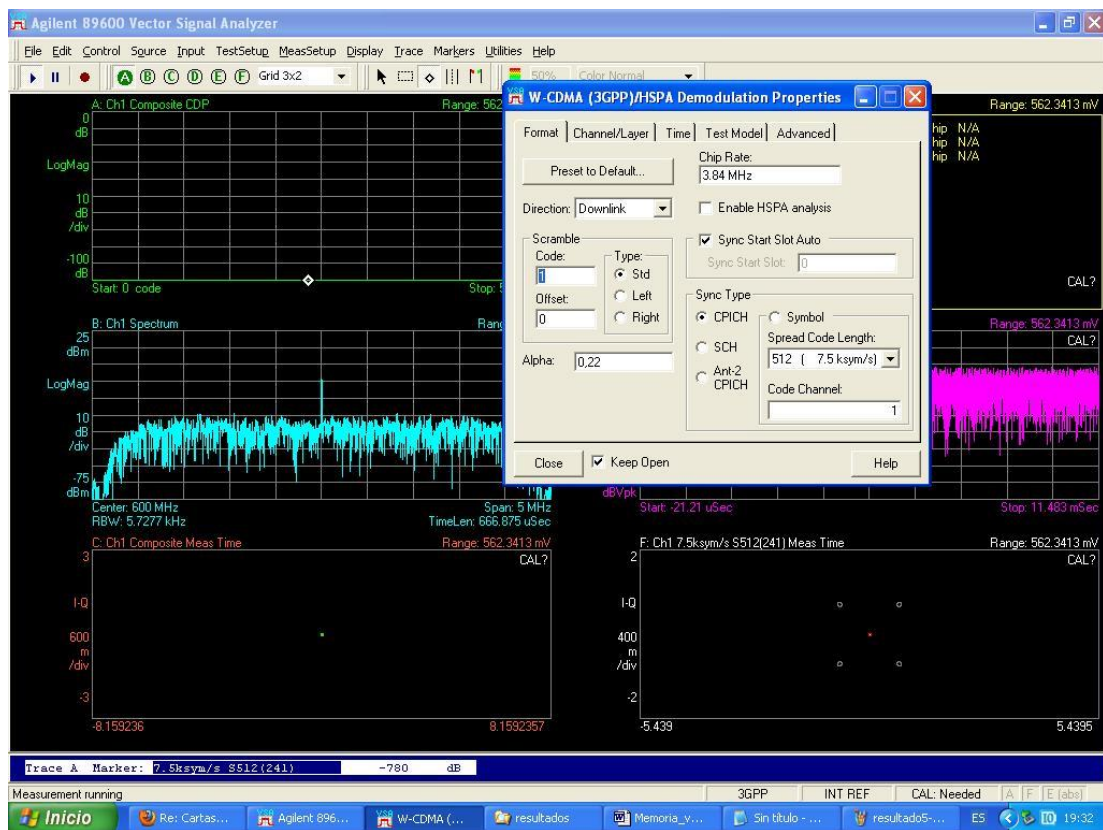


Figura 7.5-4: Transmisión con C.Scrambling 0. Recepción con C.Scrambling 1

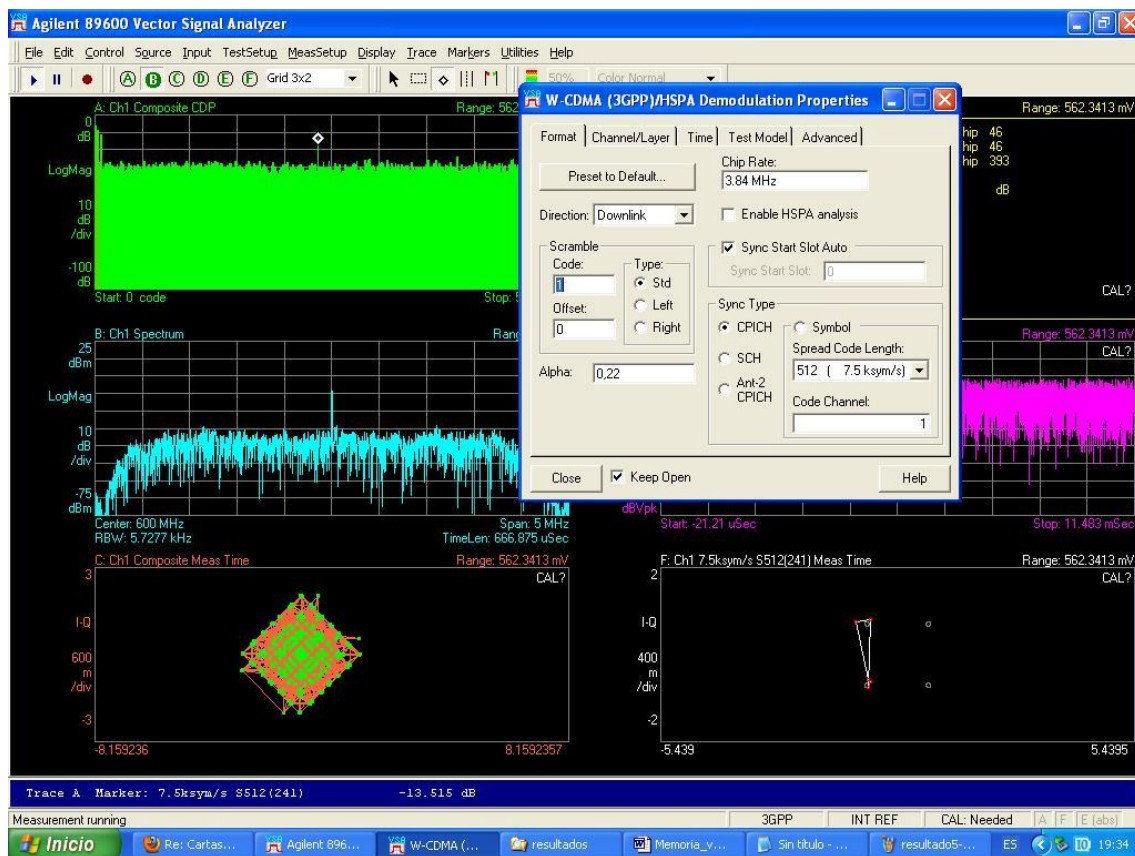


Figura 7.5-5: Transmisión con C.Scrambling 1. Recepción con C.Scrambling

8. PRESUPUESTO

A continuación se detalla la estimación del presupuesto asociado a la realización de este Trabajo Fin de Grado.

Para especificar el presupuesto, en primer lugar se presentan las tareas en la que se dividió el trabajo y las horas correspondientes asociadas a cada tarea. Después se estimarán los costes asociados tanto al personal involucrado en el trabajo, como al material que se ha usado para la consecución del proyecto. Como este Trabajo Fin de Grado está enmarcado en el desarrollo de una Beca de Colaboración, el número de horas dedicadas al mismo por día se estiman en 3 horas, tal y como establece la normativa de la beca.

En primer lugar las tareas involucradas en el trabajo fueron las siguientes:

- Tareas 1 (Octubre-Diciembre): Estudio del estándar UMTS [22,23,24,25,26]. La finalidad del estudio del estándar radicó en encontrar aquellas funcionalidades que al implementarlas permitiesen el funcionamiento del transmisor de la estación base.
- Tareas 2 (Diciembre-Abril): Implementación de la funcionalidad del transmisor de una estación base UMTS. Sólo se implementó aquello necesario para su funcionamiento. Dentro de esta tarea, se incluyen las pruebas que sean necesarias para comprobar que el funcionamiento del transmisor de la estación base es el esperado. Por ello podemos dividir esta tarea, en varias subtareas:
 - Tarea 2.1 (Diciembre): Documentación sobre los equipos y el *software Labview*. En primer lugar hubo que familiarizarse con la instrumentación que se usó para la implementación de la funcionalidad del transmisor.
 - Tarea 2.2 (Diciembre): Transmisión y medidas con los equipos a usar. Para aprender a usar los equipos, se realizó una serie de pruebas con señales básicas.
 - Tarea 2.3 (Enero-Abril): Implementación de parte de la funcionalidad del transmisor de la estación base UMTS. Aquí se implementaron los canales y lo necesario para que el transmisor funcionase de acuerdo a los requerimientos establecidos durante el estudio del estándar.
- Tarea 3 (Mayo-Junio): Elaboración de la memoria del Trabajo Fin de Grado. Se estimaron dos meses para la recopilación de información, elaboración de documentación e inserción de las pruebas realizadas en la memoria de dicho trabajo.

Por lo tanto, asumiendo una dedicación de tres horas al día, se pueden estimar 15 horas semanales. Aproximando el mes a cuatro semanas de trabajo, se estiman 60 horas de trabajo mensual. Por lo tanto el cómputo de horas a cada una de las tareas descritas anteriormente sería el siguiente:

	Horas
Tarea 1	180
Tarea 2.1	40
Tarea 2.2	20
Tarea 2.3	240
Tarea 3	120
Total horas	600

Tabla 8: Tareas vs horas

8.1 COSTE DE PERSONAL

El coste asociado al personal se divide en dos componentes principalmente: El del estudiante encargado de realizar el Trabajo Fin de Grado, Alejandro Lancho Serrano; y el del tutor de dicho proyecto, el Dr. Víctor P. Gil Jiménez.

El coste asociado al estudiante se desglosa de la siguiente forma:

Coste por hora	15 €
Total horas	600 horas
Coste total	9.000€

Tabla 8.1-1: Coste Realización TFG alumno.

El coste asociado al tutor del proyecto se desglosa a continuación:

Coste por hora	60 €
Horas estimadas	100 horas
Coste total	6.000 €

Tabla 8.1-2: Coste Realización TFG tutor

8.2 COSTE DE MATERIALES

A continuación se desglosa en una tabla todo el material utilizado en la realización del proyecto, así como las instalaciones usadas para la realización del mismo. Se intentará ofrecer un coste aproximado de todo lo involucrado en el Trabajo Fin de Grado.

Material	Coste (€)	Amortización	Total (€)
Paquete NI Labview + NI USRP 2920	4.832 €	25%	1.208,2 €
Ordenador de sobremesa válido para soportar la carga <i>software</i> y <i>hardware</i> requerida.	2.000 €	10%	200 €
Agilent ESG E4438C	86.300 €	Amortizado	0 €
VSA 89600	165.800 €	Amortizado	0 €
Ordenador de sobremesa conectado al Agilent ESG e4438C y al VSA 89600 que ejecutaba el <i>software</i> de análisis de señales.	1.000 €	Amortizado	0 €
Total			1.408,2€

Tabla 8.2: Costes Material e Instalaciones

A continuación se detalla la estimación de todos los costes:

- El paquete de NI Labview + NI USRP 2920 fue adquirido en el año 2012 con intención de amortizarlo en los primeros 4 años de vida. El precio de adquisición de los equipos fue de 4832 €. Por ello se estima un coste asociado a su utilización durante este año de 1208,2 € (25% del coste).
- El ordenador de sobremesa fue instalado en el laboratorio de Comunicaciones para la realización de este trabajo. Se estima su coste en unos 2000 €, y un periodo de amortización de unos 5 años. Como fue compartido con otro proyectando se estima un coste de 200 € (Coste/5años/2usuarios) durante la campaña de realización del proyecto.
- El Agilent ESG E4438C se encuentra ya amortizado, por lo que su coste se estimó a 0€. Lo mismo ocurre con el equipo complementario a este, el VSA 8600 y el ordenador de sobremesa que ejecutaba el *software* de análisis de los dos equipos anteriormente mencionados.

8.3 PRESUPUESTO FINAL

En primer lugar se presenta una tabla que recoge los costes de personal totales, los costes de materiales totales, y los costes indirectos asociados al proyecto:

Coste de Personal	15.000 €
Coste de Materiales	1.408,2
Costes Indirectos (20%(Coste Personal + Coste de Materiales))	3.281,64€

Finalmente, se estima que el proyecto ha tenido un coste de:

ESTIMACIÓN FINAL	19.689,84 €
ESTIMACIÓN FINAL + 21% IVA	23.824,71 €

Tabla 8.3: Presupuesto Final

9. CONCLUSIONES, LÍNEAS FUTURAS Y APLICACIONES

Como se ha podido observar tras la consecución de todas las pruebas y el análisis de los resultados, los resultados han sido satisfactorios, y por lo tanto, se tienen los principales canales del *downlink* implementados.

Esto ofrece muchas posibilidades de configuración, lo cual permitirá, en primer lugar aprender en profundidad cómo funciona WCDMA y en concreto la *Release* (Versión) 5 del 3GPP. Además se muestra cómo funciona cada uno de los canales, y se pueden variar aquellos parámetros que permiten adquirir profundos conocimientos acerca de la tecnología.

Por otro lado, supone un principio de línea de investigación, ya que este proyecto constituye una estación base implementada desde cero, y por lo tanto, todos los parámetros pueden ser modificados con finalidades de mejora de las prestaciones de una estación base.

Desde la interfaz de usuario se pueden modificar los principales parámetros de cada canal, cómo son los Códigos de Canalización y los de *Scrambling* en los canales que lo permiten, posibilita la elección de que el canal de datos porte un patrón de datos definido por el usuario o datos aleatorios, etc. Pero en el caso del que un usuario desee profundizar más, siempre puede acceder al código fuente perteneciente a la implementación de cada canal y hacer las modificaciones que desee, lo cual es una gran ventaja respecto a otras implementaciones de esta tecnología, puesto que suelen ser bastante limitadas en este sentido.

Además, deja la puerta abierta a futuras implementaciones. El trabajo se ha centrado en la implementación de la funcionalidad principal del enlace de bajada de una estación base UMTS, lo cual comprende el enlace en la dirección estación base receptor. Sin embargo, el receptor usado para la comprobación del correcto funcionamiento de la estación base, ha sido el analizador vectorial VSA 89600, el cual está capacitado para actuar de receptor WCDMA-FDD (3GPP). Por lo tanto, es evidente de que hay posibilidad de crecimiento de este proyecto, pues se podrá realizar en un futuro el receptor directamente en *Labview* para que la información enviada desde el USRP pueda ser recibida en otro USRP y analizada desde *Labview*. De hecho actualmente se está trabajando en la implementación de un receptor funcional que sea capaz de decodificar la información procedente del transmisor diseñado. Adicionalmente, también se podrá realizar el enlace de subida de la estación base que le permitiese recibir la información procedente de otro receptor implementado.

Por otro lado, la estación base cumple con las principales especificaciones que le confieren la posibilidad de funcionar. Sin embargo, no se han implementado todos los códigos de aleatorización, ni se han implementado todos los grupos del canal DPCH, ni todos los grupos de *Scrambling* para el canal S-SCH, etc. En este ámbito, la estación base también podrá seguir siendo desarrollada.

Es evidente por tanto, que este no es un trabajo aislado, sino que ofrece muchas posibilidades de crecimiento y evolución, lo cual, no es en vano, puesto que cuanto más se desarrolle este proyecto, mayores posibilidades se ofrecerán tanto para aplicaciones docentes como investigadoras.

En cuanto a aplicaciones docentes, como se ha expuesto anteriormente, se ofrece la posibilidad de que los usuarios puedan manipular todos parámetros de configuración de los canales. Por ejemplo, del SCH se puede configurar de forma sencilla el grupo de *Scrambling* a implementar. Del PICH, se pueden configurar parámetros como el IMSI, y los propios de dicho

canal. En cuanto al DPCH, se puede seleccionar si se quiere transmitir un patrón aleatorio de datos, o por el contrario, un patrón de datos introducido por el usuario. Lo mismo aplica al P-CCPCH. Este canal de forma precisa contiene la información del BCH, pero dicha información procede de capas superiores y proporciona información genérica a todos los usuarios de una celda. Por lo tanto aquí se ha implementado de forma aleatoria, aunque también se le permite al usuario introducir un patrón de datos. Por lo tanto, ante tantas opciones de configuración, se abre un gran abanico de posibilidades de aprendizaje.

Lo mismo ocurre con carácter investigador. Las posibilidades de reconfiguración y de mejoras en la implementación de todos los canales permiten que se realice un estudio de mejora de las prestaciones de la estación base. Esto es porque la implementación de la estación base ha sido realizada desde el más bajo nivel, incluyendo la generación de códigos y la modulación.

En conclusión, se presenta como un trabajo principalmente útil en el futuro, que permitirá realizar aprendizajes mucho más práctico a los futuros usuarios [8], y que además ofrece la posibilidad de realizar estudios acerca de la tecnología con finalidad investigadora.

10. REFERENCIAS

- [1] “Ministerio de Industria, Energía y Turismo”, http://www.minetur.gob.es/TELECOMUNICACIONES/ES-ES/NOVEDADES/Documents/Cobertura_de_Banda_Ancha_Espana_primer_semestre_2012.pdf accedido por última vez el 14/07/2013.
- [2] “Agenda Digital Para España”, <https://agendadigital.gob.es/> accedido por última vez el 18/06/2013
- [3] “Blog de la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones”, <http://blogcmt.com> accedido por última vez el 14/07/2013.
- [4] “Vodafone.es. Lanzamiento 4G”, <http://www.vodafone.es/conocenos/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/vodafone-lanza-4g-en-espana/>, accedido por última vez el 04/06/2013.
- [5] “Orange.es. Lanzamiento 4G”, http://4g.orange.es/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_term=+4G_orange_Broad&utm_content=4G_orange&utm_campaign=4G_orange&AAC_PROMO_CODE=11001 accedido por última vez el 04/06/2013.
- [6] “Labview”, <http://www.ni.com/Labview/esa/> accedido por última vez el 2/06/2013.
- [7] “NI USRP. Descripción general” <http://www.ni.com/usrp/whatis/esa/> accedido por última vez el 25/05/2013.
- [8] Víctor P. Gil Jiménez, Borja Genovés Guzmán, Alejandro Lancho Serrano, Ana García Armada, “*Learning Mobile Communications through Flexible Software Defined Radio Base Stations*”, sometido a revisión en IEEE Communications Magazine.
- [9] “Modelo WCDMA-FDD Mathworks Simulink”, <http://www.mathworks.es/es/help/comm/examples/wcdma-end-to-end-physical-layer.html?searchHighlight=wcdma> accedido por última vez el 18/06/2013
- [10] “Agilent E4438C ESG.Vector Signal Generator. Especificaciones”, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-4039EN.pdf> accedido por última vez el 25/05/2013.
- [11] “89600 VSA Software. Especificaciones”, <http://www.home.agilent.com/en/pc-1905089/89600-vsa-software?&cc=ES&lc=eng> accedido por última vez el 25/05/2013.
- [12] “Rohde&Schwartz Signal Generator”, http://www.rohde-schwarz.com/en/products/test-measurement/signal-generators/pg_overview_63667.html accedido por última vez el 18/06/2013
- [13] “Rohde&Schwartz Signal & Spectrum Analyzer”, http://www.rohde-schwarz.com/en/product/fsw-productstartpage_63493-11793.html accedido por última vez el 18/06/2013

- [14] “Las comunicaciones móviles en España. Pasado, Presente y Futuro”, http://www.redtel.es/documentos/informes/comunicaciones_moviles.pdf accedido por última vez el 18/06/2013.
- [15] “NI USRP 2920. Especificaciones Completas” <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-355/lang/es> accedido por última vez el 25/05/2013.
- [16] “REAL DECRETO 1066/2001”, <http://www.boe.es/boe/dias/2001/09/29/pdfs/A36217-36227.pdf> accedido por última vez el 18/06/2013
- [17] “NI USRP 2920. Generalidades” <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209948> accedido por última vez el 25/05/2013.
- [18] “Agilent E4438C ESG.Vector Signal Generator. Imagen”, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-4039EN.pdf> accedido por última vez el 25/05/2013.
- [19] “89600 VSA Software. Especificaciones”, <http://www.home.agilent.com/en/pc-1905089/89600-vsa-software?&cc=ES&lc=eng> accedido por última vez el 25/05/2013.
- [20] “Labview Support”, <http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-357/lang/es> accedido por última vez el 16/06/2013
- [21] “Mathworks. Matlab”, <http://www.mathworks.es/products/matlab/> accedido por última vez el 2/06/2013.
- [22] **3G TS 25.213 V5.0.0 (2002-03)**. 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network. *Spreading and modulation (FDD)*. Release 5.
- [23] **3G TS 25.211 V5.0.0 (2002-03)**. 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network. *Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)*. Release 5.
- [24] **3G TS 25.214 V5.0.0 (2002-03)**. 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network. *Physical layer procedures (FDD)*. Release 5.
- [25] **3G TS 25.304 V5.9.0 (2005-09)**. 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network. *User Equipment (UE) procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode*. Release 5.
- [26] **3G TS 25.331 V5.25.0 (2011-12)**. 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification. Release 5.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. ***WCDMA for UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications***, Harri Holma, Antti Toskala, 2001
2. ***UMTS signaling: UMTS interfaces, protocols, message flows and procedures analyzed and explained***, Kreher, Ralf, 2007
3. ***UMTS networks: architecture, mobility and services***, Kaaranen, Heikki, 2005
4. UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), <http://www.3gpp.org/specifications> accedido por última vez el 22/05/2013
5. UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), <http://www.umts-forum.org/> accedido por última vez el 22/05/2013

12. ANEXOS

12.1 ANEXO 1

En este anexo se presenta el procesado en banda base del *uplink*.

12.1.1 SPREADING Y MODULACIÓN EN EL UPLINK

Para la modulación en el *Uplink*, se tienen dos aspectos en cuenta principalmente:

- Maximizar la eficiencia del amplificador del terminal
- Minimizar la interferencia audible en la transmisión del terminal, que puede ser causada por la transmisión discontinua.

Para evitar la transmisión discontinua se usan dos canales físicos dedicados diferenciados entre control y datos, evitando la multiplexación en tiempo, aunque se sigue usando la multiplexación I/Q entre ambos canales. (I datos, Q control) Esto se puede observar de manera más clara en la siguiente figura:

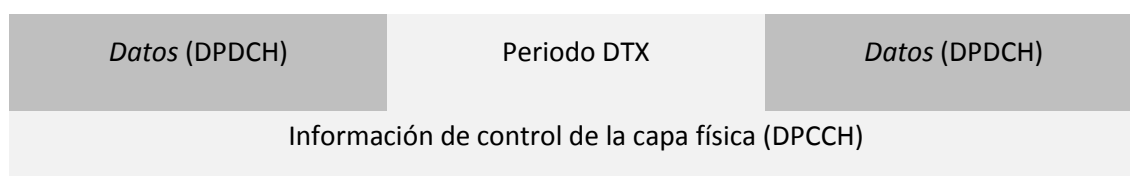


Figura 12.1.1-1: Transmisión DPDCH y DPCCH

Para maximizar la eficiencia de amplificación, lo que hay que conseguir es reducir el PAR (*Peak-to-Average*) tanto como sea posible.

La constelación antes de pasar por el código de aleatorización se muestra en la figura siguiente:



Figura 12.1.1-2: Constelación Uplink

G denota el factor de ganancia relativa entre los canales del DPDCH y el DPCCH.

El proceso completo de modulación en el *Uplink* de los canales dedicados es el siguiente:

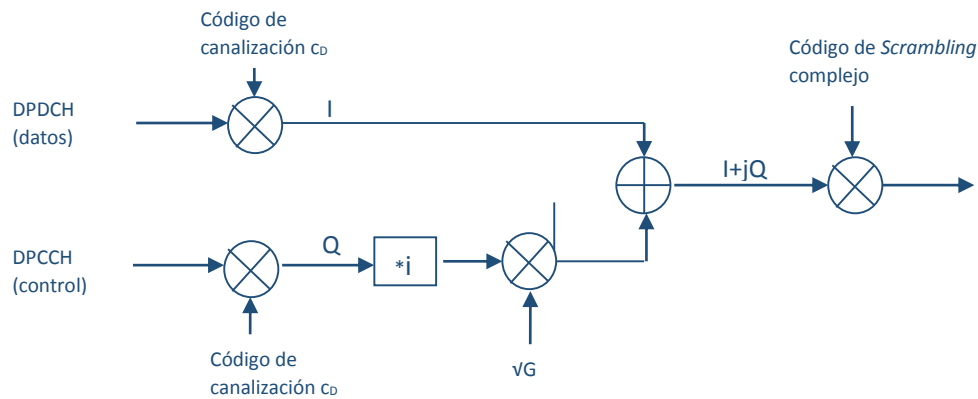


Figura 12.1.1-3: Procesado Banda Base Uplink

12.1.2 ENSANCHAMIENTO EN EL UPLINK

En el enlace de subida, existe una restricción adicional en cuanto a estos códigos. No puede usarse el mismo código de canalización entre distintos canales, aunque vayan por las distintas ramas I-Q. El motivo es que hasta que no se detecta el DPDCH y se estima la referencia de fase, los canales no pueden ser separados.

12.1.3 ALEATORIZACIÓN EN EL UPLINK

Hay dos alternativas en el enlace de subida: Los códigos de *Scrambling* cortos y los largos. Los códigos largos tienen un tamaño de 38400 chips, mientras que los cortos son de 256 chips. Los códigos largos son usados cuando la estación base en cuestión usa receptores *Rake*. Los códigos cortos se suelen usar para hacer el proceso de recepción más fácil y rápido.

Los códigos de *Scrambling* se forman como los conocidos códigos Gold.

12.1.4 SPREADING Y MODULACIÓN DE LOS CANALES COMUNES DEL UPLINK

El canal RACH contiene preámbulos. Estos son enviados durante el periodo de los 4096 primeros chips del código de *Scrambling*. El resto de transmisión es igual. Tanto el proceso de *Spreading* como *Scrambling* se lleva a cabo con valores de BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) para hacer más sencillo todo el proceso.

12.2 ANEXO 2

En el presente anexo se especifican las posibles opciones de implementación de DPCH, así como los valores y formatos que pueden tomar los distintos campos del DPCH en cada slot.

En primer lugar se muestran los distintos formatos que pueden presentar los slots de una trama del DPCH:

Formato de Slot #i	Tasa binaria del canal (kbps)	Tasa de símbolo (ksps)	SF	Bits/Slot	DPDCH Bits/Slot		DPCCH Bits/Slot			Slots transmitidos por trama radio N _{Tr}
					N _{Datos1}	N _{Datos2}	N _{TPC}	N _{TFCI}	N _{Piloto}	
0	15	7.5	512	10	0	4	2	0	4	15
0A	15	7.5	512	10	0	4	2	0	4	8-14
0B	30	15	256	20	0	8	4	0	8	8-14
1	15	7.5	512	10	0	2	2	2	4	15
1B	30	15	256	20	0	4	4	4	8	8-14
2	30	15	256	20	2	14	2	0	2	15
2A	30	15	256	20	2	14	2	0	2	8-14
2B	60	30	128	40	4	28	4	0	4	8-14
3	30	15	256	20	2	12	2	2	2	15
3A	30	15	256	20	2	10	2	4	2	8-14
3B	60	30	128	40	4	24	4	4	4	8-14
4	30	15	256	20	2	12	2	0	4	15
4A	30	15	256	20	2	12	2	0	4	8-14
4B	60	30	128	40	4	24	4	0	8	8-14
5	30	15	256	20	2	10	2	2	4	15
5A	30	15	256	20	2	8	2	4	4	8-14
5B	60	30	128	40	4	20	4	4	8	8-14
6	30	15	256	20	2	8	2	0	8	15
6A	30	15	256	20	2	8	2	0	8	8-14
6B	60	30	128	40	4	16	4	0	16	8-14
7	30	15	256	20	2	6	2	2	8	15
7A	30	15	256	20	2	4	2	4	8	8-14
7B	60	30	128	40	4	12	4	4	16	8-14
8	60	30	128	40	6	28	2	0	4	15
8A	60	30	128	40	6	28	2	0	4	8-14
8B	120	60	64	80	12	56	4	0	8	8-14
9	60	30	128	40	6	26	2	2	4	15
9A	60	30	128	40	6	24	2	4	4	8-14
9B	120	60	64	80	12	52	4	4	8	8-14
10	60	30	128	40	6	24	2	0	8	15
10A	60	30	128	40	6	24	2	0	8	8-14
10B	120	60	64	80	12	48	4	0	16	8-14
11	60	30	128	40	6	22	2	2	8	15
11A	60	30	128	40	6	20	2	4	8	8-14
11B	120	60	64	80	12	44	4	4	16	8-14
12	120	60	64	80	12	48	4	8*	8	15
12A	120	60	64	80	12	40	4	16*	8	8-14
12B	240	120	32	160	24	96	8	16*	16	8-14
13	240	120	32	160	28	112	4	8*	8	15
13A	240	120	32	160	28	104	4	16*	8	8-14
13B	480	240	16	320	56	224	8	16*	16	8-14
14	480	240	16	320	56	232	8	8*	16	15
14A	480	240	16	320	56	224	8	16*	16	8-14
14B	960	480	8	640	112	464	16	16*	32	8-14
15	960	480	8	640	120	488	8	8*	16	15
15A	960	480	8	640	120	480	8	16*	16	8-14
15B	1920	960	4	1280	240	976	16	16*	32	8-14
16	1920	960	4	1280	248	1000	8	8*	16	15
16A	1920	960	4	1280	248	992	8	16*	16	8-14

Tabla 12.2-1: Campos del DPDCH y del DPCCH

Por otro lado, en la siguiente tabla se describen los distintos posibles contenidos de los patrones de bit piloto para sus distintas longitudes. El número que indica la longitud coincide con el número de bits piloto que incluye el campo. Por lo tanto, a modo ejemplo para $N_{\text{piloto}}=8$ tenemos los símbolos 0, 1, 2 y 3 con dos bits cada uno en su interior. Además se indica el contenido para cada slot.

	$N_{\text{piloto}} = 2$	$N_{\text{piloto}} = 4$ (*1)		$N_{\text{piloto}} = 8$ (*2)				$N_{\text{piloto}} = 16$ (*3)							
Símbolo #	0	0	1	0	1	2	3	0	1	2	3	4	5	6	7
Slot #0	11	11	11	11	11	11	10	11	11	11	10	11	11	11	10
1	00	11	00	11	00	11	10	11	00	11	10	11	11	11	00
2	01	11	01	11	01	11	01	11	01	11	01	11	10	11	00
3	00	11	00	11	00	11	00	11	00	11	00	11	01	11	10
4	10	11	10	11	10	11	01	11	10	11	01	11	11	11	11
5	11	11	11	11	11	11	10	11	11	11	10	11	01	11	01
6	11	11	11	11	11	11	00	11	11	11	00	11	10	11	11
7	10	11	10	11	10	11	00	11	10	11	00	11	10	11	00
8	01	11	01	11	01	11	10	11	01	11	10	11	00	11	11
9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	00	11	11
10	01	11	01	11	01	11	01	11	01	11	01	11	11	11	10
11	10	11	10	11	10	11	11	11	10	11	11	11	00	11	10
12	10	11	10	11	10	11	00	11	10	11	00	11	01	11	01
13	00	11	00	11	00	11	11	11	00	11	11	11	00	11	00
14	00	11	00	11	00	11	11	11	00	11	11	11	10	11	01

Tabla 12.2-2: Patrones de los Bits Piloto para el downlink con $N_{\text{piloto}}=2, 4, 8$ y 16

NOTA *1: Este patrón no se usa en los formatos 2B y 3B.

NOTA *2: Este patrón no se usa en los formatos 0B, 1B, 4B, 5B, 8B y 9B.

NOTA *3: Este patrón no es usado en los formatos 6B, 7B, 10B, 11B, 12B, y 13B.

La relación entre el contenido del campo del TPC y del *transmitter power control command* es la siguiente:

TPC patrón de bits			Comando de control de potencia de transmisión
$N_{\text{TPC}}=2$	$N_{\text{TPC}}=4$	$N_{\text{TPC}}=8$	
11	1111	11111111	1
00	0000	00000000	0

Tabla 11.2-3: Patrones de Bits para el TPC

Únicamente se ha presentado el caso sin diversidad de antenas, que ha sido el seleccionado para implementar el modelo.

12.3 ANEXO 3

En el presente anexo se adjunta la tabla que define la asignación de los parámetros de los grupos de *Scrambling* en el S-SCH:

Grupo de Scrambling	Código	Número de slot														
		#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14
Grupo 0		1	1	2	8	9	10	15	8	10	16	2	7	15	7	16
Grupo 1		1	1	5	16	7	3	14	16	3	10	5	12	14	12	10
Grupo 2		1	2	1	15	5	5	12	16	6	11	2	16	11	15	12
Grupo 3		1	2	3	1	8	6	5	2	5	8	4	4	6	3	7
Grupo 4		1	2	16	6	6	11	15	5	12	1	15	12	16	11	2
Grupo 5		1	3	4	7	4	1	5	5	3	6	2	8	7	6	8
Grupo 6		1	4	11	3	4	10	9	2	11	2	10	12	12	9	3
Grupo 7		1	5	6	6	14	9	10	2	13	9	2	5	14	1	13
Grupo 8		1	6	10	10	4	11	7	13	16	11	13	6	4	1	16
Grupo 9		1	6	13	2	14	2	6	5	5	13	10	9	1	14	10
Grupo 10		1	7	8	5	7	2	4	3	8	3	2	6	6	4	5
Grupo 11		1	7	10	9	16	7	9	15	1	8	16	8	15	2	2
Grupo 12		1	8	12	9	9	4	13	16	5	1	13	5	12	4	8
Grupo 13		1	8	14	10	14	1	15	15	8	5	11	4	10	5	4
Grupo 14		1	9	2	15	15	16	10	7	8	1	10	8	2	16	9
Grupo 15		1	9	15	6	16	2	13	14	10	11	7	4	5	12	3
Grupo 16		1	10	9	11	15	7	6	4	16	5	2	12	13	3	14
Grupo 17		1	11	14	4	13	2	9	10	12	16	8	5	3	15	6
Grupo 18		1	12	12	13	14	7	2	8	14	2	1	13	11	8	11
Grupo 19		1	12	15	5	4	14	3	16	7	8	6	2	10	11	13
Grupo 20		1	15	4	3	7	6	10	13	12	5	14	16	8	2	11
Grupo 21		1	16	3	12	11	9	13	5	8	2	14	7	4	10	15
Grupo 22		2	2	5	10	16	11	3	10	11	8	5	13	3	13	8
Grupo 23		2	2	12	3	15	5	8	3	5	14	12	9	8	9	14
Group 24		2	3	6	16	12	16	3	13	13	6	7	9	2	12	7
Grupo 25		2	3	8	2	9	15	14	3	14	9	5	5	15	8	12
Grupo 26		2	4	7	9	5	4	9	11	2	14	5	14	11	16	16
Grupo 27		2	4	13	12	12	7	15	10	5	2	15	5	13	7	4
Grupo 28		2	5	9	9	3	12	8	14	15	12	14	5	3	2	15
Grupo 29		2	5	11	7	2	11	9	4	16	7	16	9	14	14	4
Grupo 30		2	6	2	13	3	3	12	9	7	16	6	9	16	13	12
Grupo 31		2	6	9	7	7	16	13	3	12	2	13	12	9	16	6
Grupo 32		2	7	12	15	2	12	4	10	13	15	13	4	5	5	10
Grupo 33		2	7	14	16	5	9	2	9	16	11	11	5	7	4	14
Grupo 34		2	8	5	12	5	2	14	14	8	15	3	9	12	15	9
Grupo 35		2	9	13	4	2	13	8	11	6	4	6	8	15	15	11
Grupo 36		2	10	3	2	13	16	8	10	8	13	11	11	16	3	5
Grupo 37		2	11	15	3	11	6	14	10	15	10	6	7	7	14	3
Grupo 38		2	16	4	5	16	14	7	11	4	11	14	9	9	7	5
Grupo 39		3	3	4	6	11	12	13	6	12	14	4	5	13	5	14
Grupo 40		3	3	6	5	16	9	15	5	9	10	6	4	15	4	10
Grupo 41		3	4	5	14	4	6	12	13	5	13	6	11	11	12	14
Grupo 42		3	4	9	16	10	4	16	15	3	5	10	5	15	6	6
Grupo 43		3	4	16	10	5	10	4	9	9	16	15	6	3	5	15
Grupo 44		3	5	12	11	14	5	11	13	3	6	14	6	13	4	4
Grupo 45		3	6	4	10	6	5	9	15	4	15	5	16	16	9	10
Grupo 46		3	7	8	8	16	11	12	4	15	11	4	7	16	3	15
Grupo 47		3	7	16	11	4	15	3	15	11	12	12	4	7	8	16
Grupo 48		3	8	7	15	4	8	15	12	3	16	4	16	12	11	11
Grupo 49		3	8	15	4	16	4	8	7	7	15	12	11	3	16	12

Grupo de <i>Scrambling</i>	Código	Número de slot														
	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	
Grupo 50	3	10	10	15	16	5	4	6	16	4	3	15	9	6	9	
Grupo 51	3	13	11	5	4	12	4	11	6	6	5	3	14	13	12	
Grupo 52	3	14	7	9	14	10	13	8	7	8	10	4	4	13	9	
Grupo 53	5	5	8	14	16	13	6	14	13	7	8	15	6	15	7	
Grupo 54	5	6	11	7	10	8	5	8	7	12	12	10	6	9	11	
Grupo 55	5	6	13	8	13	5	7	7	6	16	14	15	8	16	15	
Grupo 56	5	7	9	10	7	11	6	12	9	12	11	8	8	6	10	
Grupo 57	5	9	6	8	10	9	8	12	5	11	10	11	12	7	7	
Grupo 58	5	10	10	12	8	11	9	7	8	9	5	12	6	7	6	
Grupo 59	5	10	12	6	5	12	8	9	7	6	7	8	11	11	9	
Grupo 60	5	13	15	15	14	8	6	7	16	8	7	13	14	5	16	
Grupo 61	9	10	13	10	11	15	15	9	16	12	14	13	16	14	11	
Grupo 62	9	11	12	15	12	9	13	13	11	14	10	16	15	14	16	
Grupo 63	9	12	10	15	13	14	9	14	15	11	11	13	12	16	10	

Tabla 12.3: Grupos de Scrambling para el S-SCH